

**PENGARUH RADIASI SINAR GAMMA CO-60 TERHADAP RESPON  
MORFOLOGI DAN KADAR PROTEIN KACANG HIJAU  
(*VIGNA RADIATA L.*)**

**SKRIPSI**

Oleh :  
**MEILINA OKTAVIANI**  
NIM. 16640055



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

**PENGARUH RADIASI SINAR GAMMA CO-60 TERHADAP RESPON  
MORFOLOGI DAN KADAR PROTEIN KACANG HIJAU  
(*VIGNA RADIATA L.*)**

**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:**

**MEILINA OKTAVIANI  
NIM. 16640055**

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

## HALAMAN PERSETUJUAN

PENGARUH RADIASI SINAR GAMMA CO-60 TERHADAP RESPON  
MORFOLOGI DAN KADAR PROTEIN KACANG HIJAU  
(*Vigna Radiata L.*)

SKRIPSI

Oleh:

Meilina Oktaviani  
NIM 16640055

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji  
Pada tanggal: 06 November 2020

Pembimbing I

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

Pembimbing II

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

Mengesahkan,

Ketua Jurusan Fisika



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


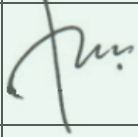
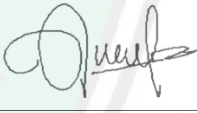

## HALAMAN PENGESAHAN

### PENGARUH RADIASI SINAR GAMMA CO-60 TERHADAP RESPON MORFOLOGI DAN KADAR PROTEIN KACANG HIJAU (*VIGNA RADIATA L.*)

#### SKRIPSI

Oleh:  
Meilina Oktaviani  
NIM. 16640055

Telah diperiksa dan disahkan  
Pada tanggal: 22 Desember 2020

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



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 : Meilina Oktaviani

NIM : 16640055

Jurusan : Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Penelitian : Pengaruh Radiasi Sinar Gamma Co-60 Terhadap Respon Morfologi dan Kadar Protein Kacang Hijau (*Vigna Radiata* L.)

Menyatakan bahwa skripsi yang saya buat untuk memenuhi persyaratan kelulusan pada Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang adalah hasil karya sendiri dan bukan duplikasi 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 mempertanggung jawabkan, serta diproses sesuai peraturan yang berlaku.

Malang, Desember 2020

Yang Membuat Pernyataan,



Meilina Oktaviani

NIM 16640055

## MOTTO

“Everybody is a genius. But if you judge a fish by its ability to climb a tree it will live its whole life believing that it is stupid.”

- **Albert Einstein** -

*“Saat semua usaha telah dilakukan, saat keringat telah membasahi, dan saat menunggu hasil telah tiba. Maka biarkanlah Allah yang mengatur Jawaban dan hasilnya, berdoalah dengan tenang dan senang. Yakin akan kebaikan dari semua hasil nanti, diterima atau ditolak, berhenti atau melanjutkan, semua ada kebaikannya.”*

*~Meilina~*



## HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan mengucap rasa syukur **Alhamdulillah**

Skripsi ini akan kupersembahkan kepada:

1. Malaikat tanpa sayap yang telah ditugaskan Allah untuk menjagaku yaitu kedua orangtuaku atas dukungan, lantunan Do'a yang tiada henti serta kesabaran dalam memotivasiku untuk kelancaran dan kesuksesanku dalam menggapai cita-cita.
2. Kakakku Nur aisa dan Kakak Ipar Rizky Rahmawan, untuk motivasi, dukungan serta arahnya hingga kepenulisan skripsi ini selesai.
3. Para dosen dan pembimbing, yang telah mencurahkan segala keluasan ilmunya. Semoga menjadi ilmu yang bermanfaat di Dunia dan di Akhirat.
4. Segenap keluarga besar Fisika Angkatan 2016 "Physics NABLA", yang telah membantu dan menyemangati hingga terselesaikannya skripsi ini.

Terima kasih atas segala hal yang membuat penulis berterima kasih, semoga Allah meringankan segala urusan kalian semua.

Aamiin....

## KATA PENGANTAR

*Assalamualaikum Wr. Wb.*

Alhamdulillah puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, taufiq, dan hidayah-Nya. Sholawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada junjungan kita Baginda Rasulullah Muhammad SAW beserta para keluarga, sahabat dan pengikut-pengikutnya. Atas ridho dan kehendak Allah SWT, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Skripsi ini merupakan salah satu syarat yang harus ditempuh untuk menyelesaikan Program Strata Satu Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Dalam proposal skripsi ini, penulis mengambil judul **“Pengaruh Radiasi Sinar Gamma Cobalt-60 Terhadap Respon Morfologi Dan Kadar Protein Kacang Hijau (*Vigna Radiata L.*)”**.

Selanjutnya penulis haturkan ucapan terima kasih seiring do'a dan harapan *jazakumullah ahsanal jaza'* kepada semua pihak yang telah membantu terselesaikannya Proposal Skripsi ini. Ucapan terima kasih ini penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. H. 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 dan Dosen Pembimbing Integrasi yang telah banyak memfasilitasi, meluangkan waktu serta nasehatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini.
4. Dr. Drs. H. M. Tirono, M.Si., selaku Dosen Pembimbing Fisika yang telah banyak meluangkan waktu, memberikan bimbingan, arahan serta saran yang sangat bermanfaat bagi penulis.
5. Farid Samsu Hananto, M.T dan Erna Hastuti, M.Si selaku dosen penguji yang telah memberikan solusi dan mengarahkan skripsi ini hingga selesai.
6. Segenap dosen, laboran serta admin Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

7. Ayahanda Bachtiar Effendi dan Ibunda Susanti, Kakakku Nur Aisa tercinta, Sang Pengukir Jiwa Raga penulis, yang paling banyak berjasa memberi bimbingan hidup dengan penuh kasih sayang, memberi bantuan material dan spiritual serta semangat agar penulis senantiasa diberikan kemudahan dalam melaksanakan segala hal.
8. Sahabat-sahabat Fisika 2016 yang telah membantu dan memberikan semangat dalam proses penulisan skripsi.
9. Serta semua pihak yang terlibat dalam penyusunan skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis juga memohon maaf apabila dalam penyusunan Skripsi ini ada beberapa kesalahan dan kekurangan. Semoga Skripsi ini bisa memberikan manfaat, tambahan ilmu dan dapat menjadikan inspirasi kepada para pembaca.  
*Aamiin Ya Rabbal Alamin.*

Malang, 16 November 2020

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGAJUAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	iv
<b>PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN</b> .....	v
<b>MOTTO</b> .....	vi
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	vii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	viii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	x
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xiv
<b>ABSTRAK</b> .....	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	6
1.3 Tujuan Penelitian.....	6
1.4 Manfaat Penelitian.....	6
1.5 Batasan Masalah.....	7
<b>BAB II KAJIAN PUSTAKA</b> .....	8
2.1 Radiasi.....	8
2.1.1 Radiasi Gamma .....	8
2.1.2 Energi Radiasi .....	9
2.1.3 Interaksi Radiasi Gamma dengan Materi atau Sel .....	13
2.1.4 Pengaruh Radiasi Sinar Gamma Terhadap Tanaman.....	17
2.2 Tanaman Kacang Hijau .....	21
2.2.1 Morfologi Tanaman Kacang Hijau .....	26
2.3 Protein .....	28
2.4 Pengaruh Radiasi Sinar Gamma Terhadap Protein .....	30
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	32
3.1 Jenis Penelitian .....	32
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian .....	32
3.3 Alat dan Bahan.....	32
3.3.1 Alat.....	32
3.3.2 Bahan.....	33
3.4 Rancangan Penelitian .....	34
3.5 Diagram Alir Penelitian .....	35
3.6 Prosedur Penelitian.....	36
3.6.1 Tahap Persiapan .....	36
3.6.2 Tahap Perawatan .....	38
3.6.3 Tahap Pengamatan .....	39
3.6.4 Pengolahan Data.....	41
3.7 Analisis Data .....	42
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	43
4.1 Data Hasil Penelitian .....	43

4.1.1 Iradiasi Gamma Menggunakan Irradiator Gamma Cell 220 .....	43
4.1.2 Data Hasil Pengukuran Respon Morfologi Tanaman Kacang Hijau .....	44
4.1.3 Data Hasil Pengukuran Kadar Protein Kacang Hijau .....	68
4.2 Pembahasan .....	70
4.3 Kajian Hasil Penelitian Dalam Perspektif Islam .....	76
<b>BAB V PENUTUP</b> .....	80
5.1 Kesimpulan .....	80
5.2 Saran .....	81
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses Peluruhan Gamma (Ainur, 2011) .....	9
Gambar 2.2	Efek Fotolistrik(Akhadi, 2000) .....	15
Gambar 2.3	Hamburan Compton(Wiryosimin, 1995) .....	16
Gambar 2.4	Produksi Pasangan(Ainur, 2011) .....	16
Gambar 2.5	Tanaman Kacang Hijau.....	23
Gambar 2.6	Kacang Hijau Varietas Vima 1 .....	25
Gambar 2.7	Struktur Umum Asam Amino .....	29
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian .....	35
Gambar 3.2	Uji Perkecambahan Kacang Hijau .....	36
Gambar 3.3	Mesin Irradiator Gamma Cell 220 (A), Memasukkan Benih Ke Dalam Chamber Untuk Di Radiasi (B) .....	38
Gambar 4.1	Grafik Pengaruh Energi Radiasi Terhadap Tinggi Tanaman Kacang Hijau .....	47
Gambar 4.2	Grafik Pengaruh Energi Radiasi Terhadap Umur Berbunga Tanaman Kacang Hijau.....	51
Gambar 4.3	Grafik Pengaruh Energi Radiasi Terhadap Umur Panen Tanaman Kacang Hijau.....	54
Gambar 4.4	Grafik Pengaruh Energi Radiasi Terhadap Jumlah Polong Pertanaman Tanaman Kacang Hijau.....	58
Gambar 4.5	Grafik Pengaruh Energi Radiasi Terhadap Jumlah Biji Pertanaman Tanaman Kacang Hijau.....	62
Gambar 4.6	Grafik Pengaruh Energi Radiasi Terhadap Berat Total Biji Kacang Hijau.....	65
Gambar 4.7	Grafik Pengaruh Energi Radiasi Terhadap Kadar Protein Kacang Hijau.....	68

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kandungan Gizi dalam Tiap 100 Gram Kacang Hijau.....	22
Tabel 2.2 Perbandingan Kandungan Protein Kacang Hijau Dengan Bahan Pangan Lainnya.....	24
Tabel 3.1 Pengaruh Radiasi Sinar Gamma Terhadap Respon Morfologi Tanaman Kacang Hijau .....	41
Tabel 3.2 Pengaruh Energi Radiasi Sinar Gamma Terhadap Kadar Protein Kacang Hijau .....	41
Tabel 4.1 Waktu Radiasi Benih Kacang Hijau Varietas Vima-1 .....	44
Tabel 4.2 Data Tinggi Tanaman Kacang Hijau .....	45
Tabel 4.3 Data Umur Berbunga Tanaman Kacang Hijau .....	49
Tabel 4.4 Data Umur Panen Tanaman Kacang Hijau.....	52
Tabel 4.5 Data Jumlah Polong Pertanaman Tanaman Kacang Hijau .....	56
Tabel 4.6 Data Jumlah Biji Pertanaman Tanaman Kacang Hijau.....	60
Tabel 4.7 Data Berat Total Biji Kacang Hijau.....	63
Tabel 4.8 Data Kadar Protein Kacang Hijau.....	67



## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Perhitungan Waktu Penyinaran Radiasi Gamma
- Lampiran 2 Data Hasil Penelitian
- Lampiran 3 Analisis ANOVA dan Uji Lanjut DMRT 5%
- Lampiran 4 Bukti Penelitian
- Lampiran 5 Bukti Konsultasi



## ABSTRAK

Oktaviani, Meilina. 2020. **Pengaruh Radiasi Sinar Gamma (Co-60) Terhadap Respon Morfologi dan Kadar Protein Kacang Hijau (*Vigna Radiata* L.)**. Skripsi. Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing (I): Dr. H. Mokhammad Tirono, M.Si; Pembimbing (II): Drs. Abdul Basid, M.Si.

---

**Kata kunci:** Radiasi Gamma, Kacang hijau, Morfologi Tanaman, Protein

Kacang hijau merupakan jenis tanaman kacang-kacangan yang menduduki urutan ketiga setelah kacang tanah dan kedelai. Peningkatan produksi kacang hijau dapat dilakukan dengan teknik mutasi buatan atau mutasi radiasi. Penyinaran dengan radiasi sinar gamma Co-60 adalah cara yang sering digunakan dalam kegiatan mutasi buatan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh radiasi sinar gamma terhadap respon morfologi dan kadar protein kacang hijau. Pemberian energi radiasi sinar gamma yaitu 0 Gy/kontrol, 100 Gy, 150 Gy, 200 Gy, 250 Gy, dan 300 Gy. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian energi radiasi sinar gamma berpengaruh secara signifikan pada semua parameter yang diamati. Secara umum semakin meningkat energi radiasi sinar gamma yang diberikan maka semakin menurunkan respon morfologi tanaman dan kadar protein hasil panen. Berdasarkan hasil penelitian pemberian energi radiasi sinar gamma terhadap benih kacang hijau dapat mempengaruhi respon morfologi tanaman dan kadar protein kacang hijau. Semakin besar energi radiasi yang diberikan mengakibatkan tinggi tanaman semakin pendek, umur berbunga dan umur panen semakin lama, jumlah polong pertanaman, jumlah biji pertanaman semakin rendah, berat total biji yang semakin kecil dan kadar protein yang semakin rendah. Pemberian energi radiasi sinar gamma tidak menunjukkan perbedaan yang nyata dengan perlakuan kontrol. Energi radiasi yang hampir menyerupai respon morfologi tanaman dan kadar protein perlakuan kontrol dijumpai pada energi 100 Gy. Perlakuan radiasi umumnya baru dapat memunculkan efek mutasi pada generasi kedua (M2), sedangkan tanaman hasil penelitian masih merupakan generasi pertama (M1).

## ABSTRACT

Oktaviani, Meilina. 2020. **The Effect of Gamma Ray Radiation (Co-60) on Morphological Response and Protein Levels of Mung Beans (*Vigna Radiata L.*)**. Thesis. Department of Physics, Faculty of Science and Technology, State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang. Advisor (I): Dr. H. Mokhammad Tirono, M.Si: Advisor (II): Drs. Abdul Basid, M.Si.

---

**Keywords:** Gamma radiation, Mung beans, plant morphology, protein

Mung beans are a type of legume plant that ranks third after peanuts and soybeans. Increased production of green beans can be done by artificial mutation techniques or radiation mutations. Irradiation with gamma Co-60 radiation is a method that used in artificial mutation activities. This study aims to determine the effect of gamma radiation on the morphological response and protein content of green beans. Giving energy to gamma ray radiation is 0 Gy / control, 100 Gy, 150 Gy, 200 Gy, 250 Gy, and 300 Gy. The results showed that the provision of gamma ray radiation energy had a significant effect on all observed parameters. In general, the higher the gamma ray radiation energy given, the lower the morphological response of plants and the protein content of crops. Based on the results, the provision of gamma ray radiation energy to green bean seeds can affect the morphological response of plants and green bean protein content. The greater the radiation energy given, the shorter the plant height, the longer the flowering and harvesting age, the number of pods per crop, the lower the number of seeds planted, the smaller the total seed weight and the lower protein content. Giving gamma ray radiation energy did not show a significant difference with the control treatment. Radiant energy that almost resembles plant morphological response and protein content in control treatment was found at 100 Gy. Generally, radiation treatment can only cause mutation effects in the second generation (M2), while the research plants are still the first generation (M1).

## مستخلص البحث

أوكتافيانبي، ميلينا.2020. تأثير إشعاع أشعة الجاماCo-60 لاستجابة المورفولوجية ومستوى البروتين فيفاصوليا خضراء(*Vigna Radiata*L.). البحث العلمي. قسم الفيزياء كلية العلوم والتكنولوجيا بجامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف (1) الدكتور الحج محمد تيرونو الماجستير والمشرف (2) الدكتور عبد الباسط الماجستير.

الكلمات الاشارة: إشعاع أشعة جاما، فاصوليا خضراء، مورفولوجيا النبات، البروتين.

فاصوليا خضراء هي نوع من نباتات البقوليات التي تحتل المرتبة الثالثة بعد الفول السوداني وفول الصويا. وترقية زيادة إنتاج الفاصوليا الخضراء عن طريقة الطفرات الاصطناعية أو الطفرات الاشعاعية. وتعد التشعيع بإشعاع جاما Co-60 هي طريقة تستخدم في أنشطة الطفرات الاصطناعية عادة. وتهدف هذا البحث لتحديد تأثير أشعة جاما على الاستجابة المورفولوجية لنباتات الفاصوليا الخضراء ومحتوى البروتين المحصودة فيها. كانت المعامل في هذا البحث طول النبات، وعمر التزهير، وعمر الحصاد، وعدد القرون لكل نبات، وعدد البذور والوزن الاجمالي للبذور، ومحتوى البروتين المحصودة. وإعطاء طاقة أشعة جاما في علاجات (0 Gy / تحكم ، Gy 100 ، Gy 150 ، Gy 200 ، Gy 250 ، Gy 300). أما نتائج البحث فتظهرت أن توفير طاقة أشعة جاما كان له تأثير معنوي على جميع المعامل الملاحظ. وبشكل عام، كلما زادت طاقة أشعة جاما المعطاة فإنه يقلل من الاستجابة لمورفولوجيا النبات ومحتوى البروتين من المحصودة. بناءً على نتائج البحث، أن إعطاء الطاقة لأشعة جاما في بذور الفاصوليا الخضراء تأثير على الاستجابة المورفولوجية للنباتات ومحتوى البروتين في الفاصوليا الخضراء. كلما زادت الطاقة الإشعاعية المعطاة، كان ارتفاع النبات أقصر، وكلما زاد عمر الإزهار والحصاد، وعدد القرون لكل محصول، انخفض عدد البذور المزروعة، وصغر الوزن الإجمالي للبذور وانخفاض محتوى البروتين. ولم يُظهر إعطاء طاقة أشعة جاما فرقاً ظهيرا مع علاج التحكم. قد تم العثور على الطاقة الإشعاعية التي تشبه تقريباً استجابة مورفولوجيا النبات ومحتوى البروتين في معالجة التحكم بطاقة Gy 100. ويمكن أن يسبب العلاج الإشعاعي تأثيرات مطفرة فقط في الجيل الثاني (M2) عام، بينما لا تزال النباتات البحثية في الجيل الأول (M1).

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Tumbuhan merupakan salah satu dari kelompok makhluk hidup yang sangat penting dalam kehidupan. Tumbuhan menghasilkan oksigen dan sumber makanan bagi manusia dan makhluk hidup lainnya. Allah SWT telah menciptakan alam dan isinya mempunyai hikmah yang sangat luas, diantaranya Allah telah menciptakan tumbuhan dan hewan yang memiliki banyak manfaat bagi kehidupan manusia. Manusia dan tumbuh-tumbuhan saling berkaitan dalam kehidupan, yang mana terdapat banyak sekali manfaat tumbuh-tumbuhan bagi manusia. Keberadaan tumbuh-tumbuhan merupakan berkah dan nikmat dari Allah SWT yang telah diberikan kepada seluruh makhluknya. Manusia juga diberikan kesempatan yang seluas-luasnya untuk mengambil manfaat dari semua yang diciptakan-Nya. Banyak ayat-ayat dalam Al-Qur'an yang membahas tentang tumbuhan, salah satunya pada Al-Qur'an surat Ta-Ha (20) ayat 53:

بِعَاقْرِ جَنَّاتٍ الَّتِي جَعَلْنَا لَكُمْ فِيهَا سُبُلًا وَأَنْزَلْنَا مِنَ السَّمَاءِ مَاءً  
أَنْزَلْنَا مِنْ تَحْتِهَا أَنْبَاتًا شَتَّى (٥٣)

*Artinya: “(Tuhan) yang telah menjadikan bumi sebagai hamparan bagimu, dan menjadikan jalan-jalan di atasnya bagimu, dan yang telah menurunkan air (hujan) dari langit. Kemudian kami tumbuhkan dengannya (air hujan itu) berjenis-jenis aneka macam tumbuh-tumbuhan”.*

Allah SWT memberitahukan bahwa Dia telah menjadikan bumi sebagai tempat menetap, berdiri dan tidur di permukaannya dan telah mempermudah makhluk di bumi dengan menjadikan jalan-jalan yang luas agar dapat berjalan di segala penjuru. Allah SWT juga telah menurunkan dari langit air hujan, yang

mana air hujan tersebut dapat menumbuhkan berbagai macam tumbuh-tumbuhan yang beraneka ragam rasa, warna dan bentuknya yang dapat dimanfaatkan oleh manusia untuk memenuhi kebutuhannya. Seperti Firman Allah yang lain pada surat Qaf (50) ayat 9:

الْحَصِيدِ وَحَبْتِهَا فَأَنْبَتْنَا مَبْرُكًا مَاءَ السَّمَاءِ مِمَّنْ نَزَّلْنَا (٩)

*Artinya: "Dan dari langit Kami turunkan air yang memberi berkah, lalu Kami tumbuhkan dengan (air) itu perpohonan yang rindang dan biji-bijian yang dapat dipanen".*

Ayat diatas menjelaskan bahwa Allah SWT telah menurunkan air yang membawa berkah yang memiliki banyak manfaat untuk manusia dan hewan. Allah tumbuhkan dari air tersebut tumbuh-tumbuhan, buah-buahan, serta biji-bijian yang dapat dipanen. Menurut Thantawi Jauhari, bahwa macam-macam buah-buahan dan biji-bijian tersebut adalah kurma, delima, pohon bidara, buah kelapa, buah tin, buah anggur, biji-bijian hijau, dan lain sebagainya. Hal ini menunjukkan adanya peran Allah dalam mengatur kehidupan, yang mana sumber airnya sama, tanah tempat tumbuhnya berada pada satu tempat yang sama tetapi bentuk dan rasanya berbeda-beda setiap tumbuhan. Hal ini menunjukkan adanya kekuasaan yang dimiliki oleh Allah SWT, tetapi hanya dapat dipahami oleh orang-orang yang berpikir (Al-Qurthubi, 2009).

Salah satu jenis tanaman yang telah diciptakan oleh Allah adalah tanaman kacang hijau. Tanaman ini merupakan salah satu tanaman Leguminosae yang cukup penting di Indonesia. Tanaman kacang hijau ini memiliki kelebihan yakni mudah dibudidayakan dilahan yang kering maupun dilahan yang basah (sawah) dan juga berumur pendek (genjah). Kacang hijau memiliki sumber protein nabati diantaranya mineral, pro vitamin A dan vitamin B kompleks di samping itu juga

kaya akan asam askorbat (vitamin C). Berdasarkan kandungan nilai gizi pada kacang hijau tersebut posisinya menduduki tingkat ketiga setelah kedelai dan kacang tanah. Kacang hijau dapat dimanfaatkan sebagai bahan makanan, seperti bubur kacang hijau, taoge, kue-kue dan pakan ternak.

Menurut Badan Pusat Statistik pada tahun 2017 produksi kacang hijau mencapai 241.334 ton dan pada tahun 2018 turun menjadi 234.720 ton sedangkan kebutuhan kacang hijau pertahunnya yakni sebesar 304.000 ton. Untuk mengatasi hasil produksi tersebut pemerintah mengimpor kacang hijau hingga 20.000 ton per tahunnya. Hal ini dapat diatasi dengan cara meningkatkan produktivitas kacang hijau di Indonesia.

Peningkatan produksi kacang hijau dapat dilakukan dengan berbagai cara. Salah satu cara untuk peningkatan produksi kacang hijau yakni pemuliaan tanaman yang bertujuan untuk menciptakan benih varietas unggul baru yang dapat meningkatkan minat para petani kacang hijau. Badan Tenaga Nuklir Nasional telah mengembangkan pemuliaan tanaman melalui mutasi radiasi, yang saat ini telah menciptakan berbagai varietas kacang hijau dengan berbagai keunggulan diantaranya tahan hama penyakit, tahan kekeringan hingga berumur genjah.

Teknik mutasi radiasi dipilih karena mempunyai keunggulan yaitu dapat meningkatkan keragaman genetik yang lebih cepat tanpa merubah sifat tanaman asli. Teknik mutasi radiasi yang sering digunakan dalam rekayasa tanaman ialah pemanfaatan sinar gamma yang dipancarkan dari sumber radioaktif. Penggunaan energi seperti sinar gamma pada tanaman akan memberikan pengaruh yang baik di bidang pertanian, dengan perlakuan dosis radiasi sinar gamma yang tepat dapat memperoleh tanaman yang mempunyai sifat-sifat yang diinginkan seperti: hasil

atau produksi tinggi, umur panen yang singkat, tahan terhadap penyakit dan sebagainya. Dengan dilakukan radiasi terhadap benih kacang hijau diharapkan juga akan mempengaruhi kandungan didalam kacang hijau seperti vitamin A, vitamin C hingga protein.

Kandungan gizi kacang hijau didominasi oleh karbohidrat dan protein. Protein kacang hijau mengandung 20-25%, protein kacang hijau kaya asam amino leusin, arginin, isoleusin, valin, dan lisin. Meskipun proteinnya dibatasi oleh asam amino seperti metionin dan sistein. Peranan penting protein adalah sebagai bahan pembentuk jaringan-jaringan baru yang selalu terjadi dalam tubuh. Protein juga mengganti jaringan tubuh yang rusak dan yang perlu dirombak. Fungsi utama protein bagi tubuh ialah untuk membentuk jaringan baru dan mempertahankan jaringan yang telah ada. Protein juga mengatur keseimbangan cairan dalam jaringan dan pembuluh darah yaitu dengan menimbulkan tekanan osmotik koloid yang dapat menarik cairan dari jaringan ke dalam pembuluh darah (Winarno, 2002).

Pada penelitian yang dilakukan oleh El-Rahman *et al* (2016), mengenai pengaruh iradiasi gamma terhadap pertumbuhan dan produksi kacang hijau. Dalam penelitian tersebut menggunakan dua varietas kacang hijau dan dosis radiasi sinar gamma yang digunakan sebesar (20, 40 dan 60 Gy) dengan tiga ulangan. Sebagai pembandingnya digunakan biji yang sama yang tidak dipapari radiasi sinar gamma. Parameter penelitian tersebut meliputi tinggi tanaman, jumlah cabang, jumlah polong, jumlah daun dan bobot biji. Hasil penelitian menunjukkan bahwa iradiasi sinar gamma secara signifikan mempengaruhi parameter tersebut. Pada biji yang diradiasi dengan dosis 20 Gy dan tanpa dosis

menghasilkan nilai terendah pada parameter yang diteliti dibandingkan dengan dosis 40 Gy dan 60 Gy. Hal ini dapat diketahui bahwa semakin tinggi dosis radiasi yang diberikan maka mempengaruhi parameter atau sifat morfologi dari tanaman tersebut.

Penelitian lain dilakukan oleh Makhziah (2017), mengenai pengaruh radiasi sinar gamma cobalt-60 terhadap sifat morfologi dan agronomi ketiga varietas jagung. Dengan menginduksi biji dari tiga varietas jagung (Bisma, lokal Madura, dan Gumarang) dengan pemberian dosis iradiasi sinar gamma yaitu dosis 0, 100, 200, dan 300 Gy. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak terjadi interaksi yang nyata antara dosis sinar gamma dengan tiga varietas jagung yang digunakan, namun peningkatan dosis sinar gamma menyebabkan penurunan beberapa sifat seperti tinggi tanaman dan jumlah daun menurun secara nyata ketika dosis sinar gamma meningkat dari 100 Gy menjadi 300 Gy, demikian juga pada berat biji pertanaman dan jumlah biji per tongkol. Dosis 200 Gy menghasilkan lebih banyak tongkol dibandingkan dengan dosis yang lain. Varietas bisma menunjukkan penampilan yang lebih baik dibandingkan Gumarang dan lokal Madura baik untuk sifat morfologi dan agronomi.

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut dapat diketahui bahwa radiasi sinar gamma dapat menimbulkan efek fisik, kimia maupun biologis pada tanaman. Seiring dengan meningkatnya permintaan kacang hijau dipasaran, dan daya beli yang dilakukan para pedagang terhadap para petani cenderung menurun diakibatkan oleh penyesuaian harga pasar. Hal ini menjadi sangat penting untuk diadakan penelitian tentang benih unggul kacang hijau yang dipakai oleh para petani dalam aspek morfologi dan kadar proteinnya. Mengenai hal tersebut, maka

akan dilaksanakan penelitian mengenai Pengaruh Radiasi Sinar Gamma Cobalt-60 Terhadap Respon Morfologi dan Kadar Protein Kacang Hijau.

### **1.2 Rumusan Masalah**

1. Bagaimana pengaruh energi radiasi terhadap respon morfologi tanaman kacang hijau?
2. Bagaimana pengaruh energi radiasi terhadap kadar protein kacang hijau hasil radiasi?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

1. Untuk mengetahui pengaruh energi radiasi terhadap respon morfologi tanaman kacang hijau.
2. Untuk mengetahui pengaruh energi radiasi terhadap kadar protein kacang hijau hasil radiasi.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

1. Bagi mahasiswa, dapat memperdalam pengetahuan ilmu fisika terutama dalam pemanfaatan radiasi sinar gamma untuk pemuliaan tanaman terutama pada kacang hijau.
2. Bagi masyarakat, dapat mengetahui pengaruh radiasi sinar gamma terhadap morfologi dan kadar protein sehingga para petani kacang hijau lebih selektif untuk mendapatkan benih yang unggul.

### 1.5 Batasan Masalah

Agar permasalahan lebih terkonsentrasi, maka dilakukan pembatasan-pembatasan masalah dalam penelitian. Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Sampel penelitian ini menggunakan kacang hijau varietas Vima 1.
2. Energi radiasi sinar gamma yang digunakan sebesar 100 - 300 Gy (dengan interval 50 Gy).
3. Alat radiasi gamma yang digunakan yaitu *Gammacell* 220 dengan Sumber radioaktif Cobalt-60 ( $^{60}\text{Co}$ ).
4. Uji morfologi tanaman kacang hijau meliputi tinggi tanaman, umur berbunga, umur panen, jumlah polong pertanaman, jumlah biji pertanaman dan berat total biji.
5. Uji kadar protein menggunakan metode biuret.

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Radiasi**

#### **2.1.1 Radiasi Gamma**

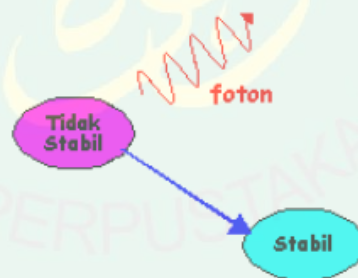
Radiasi merupakan setiap proses dimana energi bergerak melalui media atau melalui ruang, dan akhirnya diserap oleh benda lain. Radiasi terjadi karena suatu pancaran energi yang berasal dari proses perubahan atom atau inti atom yang tidak stabil. Ketidakstabilan atom atau inti atom tersebut terjadi secara 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 sebagainya. Adapun sumber radiasi yang berasal dari buatan manusia disebut sumber radiasi buatan seperti sinar-X, sinar gamma, dan lain-lain.

Radiasi sinar gamma termasuk jenis radiasi gelombang elektromagnetik atau foton, dimana radiasi gelombang elektromagnetik merupakan pancaran energi dalam bentuk gelombang elektromagnetik atau foton yang tidak bermassa maupun bermuatan listrik. Jika sinar gamma masuk ke dalam suatu bahan atau materi dapat menghasilkan ionisasi, namun ionisasi yang dihasilkan sebagian besar berasal dari proses ionisasi sekunder. Sehingga, sinar gamma berinteraksi dengan materi hanya beberapa pasang ion primer saja yang terbentuk. Ion-ion primer tersebut kemudian melakukan proses ionisasi sekunder sehingga diperoleh pasangan ion yang lebih banyak dibandingkan dengan proses ionisasi primer (Putra, 2018).

Sinar gamma memiliki beberapa sifat alamiah yakni sebagai berikut (Mostavan, 1999):

1. Sinar gamma tidak memiliki jangkauan maksimal di udara, semakin jauh dari sumber maka intensitasnya semakin kecil.
2. Sinar gamma memiliki daya ionisasi yang lemah
3. Mempunyai daya tembus yang terbesar.
4. Tidak membelok dalam medan listrik maupun medan magnet.

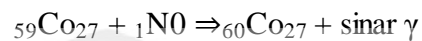
Suatu inti dapat berada pada tingkat tereksitasinya sebagai akibat dari peluruhan Alfa, peluruhan Beta, atau karena tumbukan dengan suatu partikel. Ketika menuju ke tingkat dasarnya, inti tersebut melepaskan energi dalam bentuk radiasi foton yang disebut sinar gamma. Radiasi gamma memiliki panjang gelombang lebih pendek dari  $10^5$  F, dengan energi yang lebih besar dari 0,1 MeV (Wiyatmo, 2009). Setelah memancarkan radiasi gamma, inti atom tidak mengalami perubahan baik jumlah proton maupun jumlah neutron (Ainur, 2011).



**Gambar 2.1** Proses Peluruhan Gamma (Ainur, 2011)

Proses yang menggunakan energi radiasi dapat dilakukan dalam fasilitas radiasi gamma (iradiator) atau dalam radiasi elektron tinggi (akselerator elektron). Radiasi pengion yang banyak digunakan adalah sinar  $\gamma$  (gamma). Sinar gamma merupakan gelombang pendek yang disebut sinar piko dengan daya penetrasi

yang sangat kuat. Sumber radiasi sinar gamma yang banyak digunakan yakni radionuklida kobalt-60 [ $^{60}\text{Co}$ ]. Kobalt-60 dibuat dalam reaktor atom dengan cara menembak Kobalt-59 yang diperoleh dari alam dengan iradiasi sinar neutron yang dilakukan di reaktor. Persamaan reaksinya adalah sebagai berikut (Diehl, 1995):



Ada 2 macam sumber radiasi yang umum digunakan yaitu radionuklida dan mesin berkas elektron cepat. Radionuklida [ $^{60}\text{Co}$ ] dengan energi sinar gamma 1.17 MeV dan 1.33 MeV serta [ $^{137}\text{Cs}$ ] dengan energi 0.66 MeV merupakan 2 jenis isotop radioaktif yang dapat dimanfaatkan secara komersial. Sedangkan pada sinar X dibatasi energinya sampai dengan 5 MeV dan mesin berkas elektron dibatasi dengan energi maksimal 10 MeV (Diehl, 1995).

Saat ini pemanfaatan sinar gamma sudah banyak berkembang diberbagai bidang salah satunya yakni bidang pertanian. Sinar gamma mempunyai daya tembus yang besar, dengan daya tembus yang besar tersebut sinar gamma dapat dimanfaatkan dalam bidang pemuliaan tanaman untuk menciptakan keragaman genetik yang baru dalam perakitan varietas unggul. Pemuliaan tanaman dengan menggunakan sinar gamma ini disebut dengan pemuliaan tanaman dengan teknik mutasi radiasi. Tujuan penggunaan sinar gamma dalam pemuliaan tanaman dengan teknik mutasi yakni dapat menciptakan sifat baru dari tanaman melalui perubahan genetik dan sifat dari tanaman induk setelah dilakukan radiasi sinar gamma pada dosis tertentu pada tanaman induk (Harsanti dan Yulidar, 2016).

Gammacell 220 merupakan mesin irradiator dengan sumber energi Cobalt-60 dengan aktivitas awal 10.697 Curies. Gammacell 220 digunakan untuk penelitian yang memerlukan perlakuan radiasi akut (*acute irradiation*), yaitu

radiasi dengan dosis tinggi seperti pada biji-bijian atau materi reproduktif tanaman lainnya yang berukuran kecil. Sinar gamma yang bersumber dari isotop cobalt-60 lebih banyak digunakan karena mempunyai panjang gelombang yang lebih pendek (10 - 0,1 nm), mempunyai spektrum yang luas, penetrasi ke jaringan tanaman relatif mudah, frekuensi mutasi yang terjadi cukup tinggi dan mudah diaplikasikan.

### 2.1.2 Energi Radiasi

Energi radiasi merupakan suatu energi yang diterima oleh suatu jaringan akan tergantung pada jumlah intensitas foton yang diserap, lamanya jaringan yang terpapar radiasi dan jarak sumber radiasi terhadap jaringan. Menurut Akhadi (2000), ada beberapa macam energi dalam radiasi yakni sebagai berikut:

#### 1. Energi Serap ( $E$ )

Energi serap adalah banyaknya energi radiasi yang diserap atau diterima oleh suatu materi. Jadi energi serap merupakan sejumlah energi yang diberikan oleh radiasi pengion yang diserap oleh materi atau sel. Energi serap ( $E$ ) dapat dituliskan sebagai berikut (Akhadi, 2000):

$$E = \text{energi/massa} \text{ atau } E = \frac{d\varepsilon}{dm} \dots\dots\dots (2.1)$$

Persamaan Energi Total

$$E = \frac{\varepsilon_{\text{total}}}{m} \dots\dots\dots (2.2)$$

Nilai  $\varepsilon_{\text{total}} = N \times \varepsilon_1$  partikel radiasi, sehingga:

$$E = \frac{\varepsilon_1 \text{ partikel radiasi}}{m} \dots\dots\dots (2.3)$$

Jumlah  $N$  bergantung pada waktu karena adanya aktivitas peluruhan:

$$A = -\frac{dN}{dt} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$dN = -A \cdot dt \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\int dN = \int -A \cdot dt \dots\dots\dots (2.6)$$

$$N = -A \cdot t \dots\dots\dots (2.7)$$

Sehingga:

$$E = \frac{A \times \epsilon \times 1 \text{ partikel radiasi} \times t}{m} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana  $E$  adalah Energi serap dengan satuan J/kg atau Gy,  $\epsilon$  adalah energi yang diserap oleh medium bermassa  $m$ . Satuan dari  $\epsilon$  adalah joule dan  $m$  adalah kg.

## 2. Energi Ekuivalen ( $H_T$ )

Energi ekuivalen adalah energi serap yang mempertimbangkan faktor kualitas dari radiasi. Semakin besar radiasi (semakin merusak), maka semakin tinggi faktor kualitasnya. Energi ekuivalen dapat ditulis sebagai berikut (Akhadi, 2000):

$$H_T = W_R \cdot D \dots\dots\dots (2.10)$$

Dengan  $H_T$  adalah energi ekuivalen dengan satuan Sievert (Sv),  $W_R$  adalah faktor kualitas (pembobot) dan  $2 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$ , rem merupakan satuan CGS.

## 3. Energi Efektif

Energi efektif adalah energi serap yang mempertimbangkan kualitas radiasi dan sensitivitas yang berbeda-beda. Sel yang harus dilindungi adalah sel reproduksi. Sehingga Energi efektif ini dapat dituliskan sebagai (Akhadi, 2000):

$$E = W_T \cdot H_T = W_T \cdot W_R \cdot D \dots\dots\dots (2.11)$$

Dengan :

WT = Faktor sensitivitas atau factor bobot jaringan

HT = Energi Ekuivalen

WR = Faktor kualitas (pembobot)

### 2.1.3 Interaksi Radiasi Gamma dengan Materi atau Sel

Interaksi radiasi gamma dengan materi pada umumnya merupakan interaksi dengan elektron di dalam orbital atom. Interaksi radiasi dengan inti atom hanya terjadi dengan neutron yang tidak bermuatan sehingga tidak menyebabkan ionisasi. Interaksi radiasi dengan materi biologi diawali dengan interaksi fisika yaitu proses ionisasi. Pada proses ionisasi akan menghasilkan elektron yang akan berinteraksi secara langsung maupun tidak langsung. Jika secara langsung energi elektronnya akan langsung diserap oleh molekul organik sel yakni berupa kerusakan DNA. Sedangkan secara tidak langsung bila terlebih dahulu terjadi interaksi radiasi dengan molekul air dalam sel yang kemudian akan mengenai molekul organik yang penting. Interaksi secara fisika-kimia ini akan menimbulkan kerusakan sel lebih lanjut yang pada akhirnya akan menimbulkan efek biologis (Mubarok, 2018).

Ketika suatu radiasi sinar gamma atau radiasi sinar-X berada dalam suatu jaringan tubuh organisme, maka radiasi tersebut kemungkinan akan berinteraksi secara langsung dengan sel atau sub seluler dengan sasaran kritis dalam sel seperti inti sel yang mengandung kromosom. Kerusakan yang terjadi pada DNA dan kromosom sel akan bergantung pada proses perbaikan yang berlangsung. Proses perbaikan berlangsung sempurna bila tingkat kerusakan pada sel tidak terlalu

parah, maka sel dapat kembali ke keadaan normal. Bila proses perbaikan berlangsung tidak sempurna, maka sel tetap dapat hidup namun akan mengalami perubahan. Pada sel yang kerusakannya sangat parah maka sel tersebut akan mati. Tingkat kerusakan sel akibat radiasi sangat bervariasi dan bergantung pada tingkat sensitifitas sel terhadap radiasi (Cherveney, 2013).

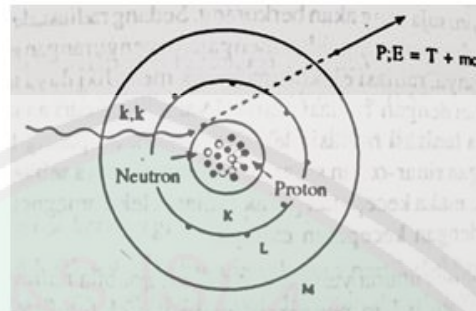
Radiasi gamma memiliki panjang gelombang yang lebih pendek daripada radiasi sinar-X. Sehingga interaksi radiasi sinar gamma dengan materi atau sel lebih tinggi dan daya tembusnya lebih besar atau kuat daripada radiasi sinar-X. Ada tiga proses utama yang dapat terjadi apabila radiasi gamma melewati suatu bahan penyerap yaitu efek fotolistrik, hamburan Compton dan produksi pasangan. Ketiga proses tersebut melepaskan elektro yang kemudian akan mengionisasi atom-atom lain dalam bahan (Akhadi, 2000).

a. Efek Fotolistrik

Efek fotolistrik merupakan interaksi antara foton dengan sebuah elektron yang terikat kuat dalam atom yaitu elektron pada kulit bagian dalam suatu atom. Foton akan menumbuk elektron tersebut dan elektron itu terikat kuat maka akan menyerap seluruh tenaga foton. Sehingga, elektron akan dipancarkan keluar dari atom dengan tenaga gerak yakni sebesar selisih tenaga foton dan tenaga ikat elektron (Gautreau & Savin, 1999).

Peristiwa efek fotolistrik terjadi akibat interaksi antara radiasi elektromagnetik dengan elektron-elektron dalam atom bahan. Pada peristiwa ini energi foton yang diserap seluruhnya oleh elektron yang terikat kuat oleh suatu atom sehingga elektron itu akan terlepas dari ikatan inti atom. Efek fotolistrik ini akan terjadi pada foton berenergi rendah, yaitu berkisar antara

0,01 MeV hingga 0,5 MeV dan dominan pada energi foton di bawah 0,1 MeV. Semakin besar energi foton maka elektron-elektron yang berada pada orbit lebih dalam akan dilepaskan (Akhadi, 2000).



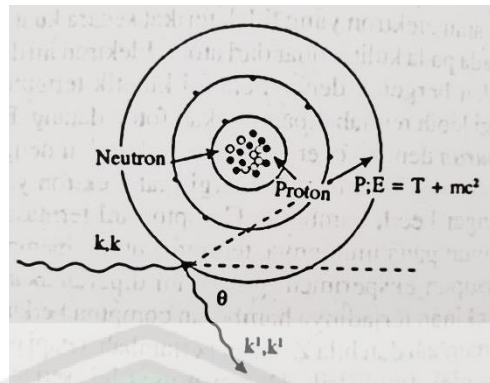
**Gambar 2.2** Efek Fotolistrik (Akhadi, 2000)

#### b. Hamburan Compton

Hamburan Compton, terjadi ketika foton dengan energi  $h\nu$  berinteraksi dengan elektron bebas atau elektron yang tidak terikat secara kuat pada inti yakni elektron yang berada pada kulit paling luar dari atom. Peristiwa ini menyerupai peristiwa efek fotolistrik, kecuali energi foton pada peristiwa hamburan Compton yang mengenai materi tidak diserap sepenuhnya. Foton akan menyerahkan sebagian energinya kepada elektron dan akan terhambur membentuk sudut terhadap arah gerak foton datang (Gautreau & Savin, 1999).

Pada hamburan Compton, energi foton datang yang diserap atom diubah menjadi energi kinetik elektron dan foton hamburan yang berenergi lebih rendah. Hamburan Compton dapat terjadi pada foton yang memiliki energi antara 200 keV hingga 5 MeV (Amsori, 2009). Jika energi foton mula-mula adalah  $E$  (MeV) dan energi foton terhambur adalah  $E'$  (MeV), maka diperoleh hubungan antara keduanya sebagai berikut:

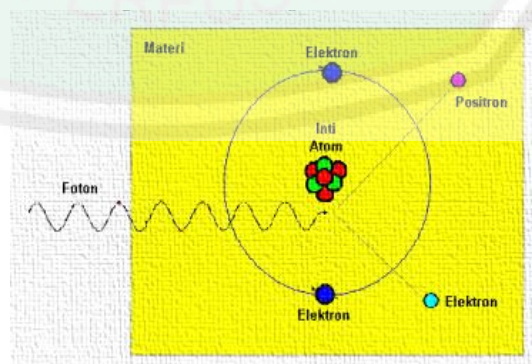
$$E' = \frac{E}{1 + 1,96 E (1 - \cos \theta)} \dots\dots\dots (2.12)$$



**Gambar 2.3** Hamburan Compton (Wiriyosimin, 1995)

c. Produksi Pasangan

Peristiwa produksi pasangan merupakan kejadian pada zarah radiasi gamma yang mengenai suatu materi akan menyerahkan semua energi yang dimilikinya dan atom bahan mengubahnya menjadi sepasang elektron dan positron. Positron adalah inti partikel dari elektron yang mempunyai karakteristik yang sama dengan elektron namun bermuatan positif. Produksi pasangan hanya dapat terjadi pada energi foton datang  $\geq 1,02 \text{ MeV}$  ( $2 m c^2$ ). Peristiwa produksi pasangan ini selalu diikuti dengan proses *annihilasi*, yaitu proses penggabungan kembali antara positron hasil produksi pasangan dengan elektron yang banyak terdapat di alam maupun dengan elektron hasil produksi pasangan itu sendiri. Peristiwa *annihilasi* akan timbul panas berupa radiasi gamma berenergi rendah (Wardhana, 2007).



**Gambar 2.4** Proses Produksi Pasangan (Ainur, 2011)

#### 2.1.4 Pengaruh Radiasi Sinar Gamma Terhadap Tanaman

Radiasi gamma merupakan suatu sinar berenergi yang berasal dari radiasi elektromagnetik hasil dari radioaktivitas atau proses nuklir (Dewi, 2011). Energi foton yang dipancarkan sinar gamma berbentuk pancaran gelombang elektromagnetik mengakibatkan terjadinya ionisasi pada benda yang dilewatinya (Alpen, 1990). Sinar gamma memiliki daya tembus yang besar, oleh karena itu sangat efektif digunakan untuk pemuliaan tanaman melalui teknik mutasi.

Penggunaan sinar gamma dalam teknologi nuklir memiliki peran utama dalam pemuliaan tanaman, yakni dapat melakukan induksi mutasi pada materi genetik. Kemampuan tersebut disebabkan karena nuklir memiliki energi yang cukup tinggi untuk menciptakan perubahan pada struktur atau komposisi materi genetik tanaman (Biogen, 2011). Menurut Wariato (2011), mutasi dibagi menjadi 3 menurut kejadiannya yaitu mutasi spontan, mutasi buatan dan mutasi maju. Mutasi spontan merupakan mutasi yang berasal dari radiasi mineral radioaktif yang berasal dari sinar kosmik, mutasi ini jarang terjadi namun apabila terjadi mutasi akan menimbun dalam waktu yang lama. Mutasi buatan adalah mutasi dengan menggunakan mutagen buatan yang ditambahkan pada bagian-bagian tanaman untuk mempercepat proses mutasi, mutasi ini terjadi secara spontan dan dalam waktu tertentu. Sedangkan mutasi maju yakni mutasi yang sebagian besar hasilnya resesif, dan kurang dari 1% yang bersifat dominan lengkap yang keseluruhan hasil mutasinya tidak muncul pada populasi F1.

Terdapat 3 jenis mutasi berdasarkan bagian yang mengalami mutasi, yakni mutasi DNA, mutasi gen dan mutasi kromosom. Mutasi DNA merupakan mutasi yang terjadi pada DNA yang terdiri dari beberapa jenis mutasi seperti mutasi

transisi, mutasi transvers, insersi, dan delesi. Mutasi gen atau mutasi titik adalah perubahan kimiawi yang terjadi pada beberapa pasangan basa yang ada dalam satu gen. Mutasi kromosom merupakan struktur didalam sel yang berupa deret panjang molekul yang terdiri dari satu molekul DNA yang menghubungkan gen. Mutasi kromosom meliputi perubahan struktur kromosom dan jumlah kromosom (Wariant, 2011). Perubahan struktur kromosom merupakan perubahan komposisi dan susunan bahan kromosom namun jumlah kromosom itu tetap seperti delesi, duplikasi, inversi dan translokasi. Sedangkan perubahan jumlah kromosom yakni penambahan dan pengurangan kromosom lengkap (genom), perubahan kromosom menyebabkan keragaman genetik yang akan muncul pada keragaman fenotipe seperti sifat morfologi dan fisiologi (Crowder, 1986).

Elektron atom sel yang terkena radiasi sinar gamma akan keluar dari orbitnya karena terjadi benturan. Pada saat terjadi proses ionisasi, maka akan terbentuk radikal positif dan elektron bebas. Elektron akan terperangkap dan ion radikal yang tidak stabil dan reaktif akan bereaksi dengan molekul lainnya. Selanjutnya elektron bebas yang berada dalam larutan air akan mempolarisasi air menjadi elektron yang terhidrasi (kehilangan atom H) (Aisyah, 2013). Suatu materi yang dapat diradiasi yaitu materi yang memiliki kandungan air. Menurut Asadi (2011), kandungan oksigen dan molekul air yang semakin banyak dalam materi yang akan diradiasi, maka radikal bebas yang terbentuk akan semakin banyak pula, sehingga tanaman akan menjadi lebih peka. Jika suatu materi diradiasi maka proses yang terjadi ialah sel yang mengandung air akan menyerap energi radiasi. Energi yang dimiliki sinar gamma sebesar 1,33 MeV. Proses penyerapan energi radiasi berlangsung sangat singkat ( $10^{-16}$  detik).

Sinar gamma memproduksi energi yang mampu mengakibatkan kerusakan pada molekul karena energi radiasi langsung diserap oleh molekul DNA melalui reaksi spontan. Namun pada reaksi tak langsung energi tidak diserap oleh DNA, melainkan oleh molekul lain yang ada didalam sel dan mampu menghasilkan radikal bebas sehingga terjadi perubahan pada molekul DNA (Asadi, 2011). Sedangkan menurut Kovacs dan Keresztes (2002), perubahan yang terjadi pada saat DNA atau gen terpapar oleh sinar gamma yakni ketika radiasi pengion diserap oleh materi biologis. Sehingga terdapat kemungkinan materi tersebut akan bertindak langsung pada target-target penting yang ada didalam sel. Kemudian, radiasi dapat berinteraksi dengan atom maupun berdifusi cukup jauh dan merusak komponen penting dalam sel tanaman, karena sitoplasma yang mengandung air sekitar 80%. Perubahan morfologis tanaman dapat disebabkan oleh perubahan kimia dan biologi dari berbagai jaringan dan partikel sel. Royani (2012) menambahkan bahwa radikal bebas juga mengakibatkan perubahan pada tanaman secara morfologis, anatomi, biokimia dan fisiologis yang bergantung pada dosis iradiasi yang diberikan.

Menurut Aisyah (2013), pemberian dosis iradiasi dalam pemuliaan mutasi dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu radiasi tunggal, chronic irradiation, radiasi berulang dan recurrent irradiation. Radiasi tunggal (*acute irradiation*) merupakan radiasi yang dilakukan dengan laju dosis yang tinggi dalam waktu yang singkat atau dalam hitungan menit. *Chronic irradiation* yakni radiasi yang dilakukan dengan laju dosis yang rendah bahkan sangat rendah secara terus-menerus dalam jangka waktu yang lama atau dalam hitungan bulan. Radiasi berulang (*intermittent irradiation*) yaitu radiasi yang dilakukan secara berulang

pada bahan tanam yang telah mengalami perlakuan iradiasi tunggal. Sedangkan *recurrent irradiation* merupakan radiasi yang dilakukan secara berulang pada bahan tanam yang telah mengalami perlakuan iradiasi tunggal. Radiasi diberikan sekali atau beberapa kali setelah iradiasi tunggal setelah satu siklus tanaman.

Pemberian dosis yang terlalu tinggi menyebabkan kematian sel akibat dari pembelahan sel yang terhambat sehingga mengganggu pertumbuhan suatu tanaman. Akan tetapi pemberian dosis iradiasi yang lebih rendah tidak mampu untuk memutasi tanaman karena frekuensi mutasi yang rendah akan menghasilkan sedikit materi yang termutasi (Herison, dkk, 2008). Dosis radiasi gamma yang digunakan untuk pemuliaan mutasi tanaman merupakan suatu parameter yang sangat menentukan dalam mendapatkan tanaman mutan dengan sifat yang diinginkan.

Menurut Soedjono (2003) menyatakan, bahwa peluang dan persentase terjadinya mutasi tergantung dari jumlah tanaman, usia tanaman, organ tanaman, fase pertumbuhan dan lamanya waktu penyinaran. Sedangkan menurut Yuniarti (2013), reduksi meningkat seiring dengan meningkatnya dosis iradiasi, ditunjukkan dengan beberapa perubahan pada proses metabolisme biji yang menyebabkan terjadinya laju perkecambahan dan pertumbuhan yang tidak normal. Tahap awal pada proses perkecambahan melibatkan pemecahan cadangan makanan benih yang akan dimanfaatkan dalam proses sintesis. Fauza (2007) menyatakan bahwa radiasi sinar gamma pada biji manggis memperlihatkan adanya peningkatan variabilitas fenotip pada beberapa karakter yang diamati seperti tinggi tanaman, jumlah daun pertanaman, diameter batang, dan lebar daun.

Sinar gamma juga dapat menekan pertumbuhan akar, batang, dan daun (pertumbuhan vegetatif). Dosis radiasi yang diberikan untuk mendapatkan individu yang memperlihatkan perubahan sifat (mutan) tergantung pada jenis tanaman, fase tumbuh, ukuran, kekerasan, dan bahan yang akan dimutasi. Pemanfaatan radiasi sinar gamma pada berbagai konsentrasi diharapkan mendapatkan jenis varietas unggul yang mempunyai karakter buah yang baik dari sebelumnya. Radiasi gamma dengan dosis yang terlalu tinggi dapat memberikan efek negatif langsung pada tanaman, karena dapat menyebabkan tanaman mati (Van Harten, 1998).

## 2.2 Tanaman Kacang Hijau

Tanaman kacang hijau merupakan tanaman yang berasal dari kawasan India. Tanaman kacang hijau termasuk keluarga atau suku Leguminosae yang memiliki varietas yang banyak. Tanaman ini juga biasa disebut *mungbean*, *green gram* atau *golden gram* (Somaatmadja, 1993). Berikut taksonomi tanaman kacang hijau (Tjitrosoepomo, 1996) :

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Spermatophyta
Sub divisi	: Agiospermae
Kelas	: Dicotyledonae
Ordo	: Polypetalae
Famili	: Leguminosae (Papilionaceae)
Genus	: Vigna
Spesies	: <i>Vigna radiata</i> (L.) Wilczek

Kacang hijau merupakan jenis tanaman kacang-kacangan ketiga setelah kacang tanah dan kedelai. Kacang hijau termasuk salah satu tanaman semusim yang berumur pendek (sekitar 60 hari). Tanaman kacang hijau dapat tumbuh di kondisi lingkungan dengan suhu 25°C - 27°C. Tanaman ini dapat tumbuh diberbagai tempat di Indonesia baik dataran rendah maupun dataran tinggi. Terdapat banyak manfaat pada kacang hijau di kehidupan sehari-hari salah satunya yakni sebagai sumber bahan pangan protein nabati tinggi. Berikut tabel kandungan gizi kacang hijau (Retnaningsih, 2008):

Tabel 2.1 Kandungan Gizi Dalam Tiap 100 Gram Kacang Hijau

No.	Kandungan Gizi	Kacang Hijau
1.	Kalori (kal)	345
2.	Protein (g)	22,2
3.	Lemak (g)	1,2
4.	Karbohidrat (g)	62,9
5.	Serat (g)	4,1
6.	Kalsium (mg)	125
7.	Zat besi (mg)	6,7
8.	Fosfor (mg)	320
9.	Vitamin A (SI)	157
10.	Vitamin B1 (mg)	0,64
11.	Vitamin C (mg)	6,0
12.	Air (g)	10



**Gambar 2.5** Tanaman Kacang Hijau

Kacang hijau memiliki biji yang lebih kecil dibandingkan dengan jenis kacang-kacangan yang lainnya. Biji kacang hijau terdiri dari tiga bagian, yaitu kulit biji (10%), kotiledon (88%) dan lembaga (2%). Pada bagian kulit biji kacang hijau memiliki kandungan mineral yakni fosfor (P), kalsium (Ca) dan besi (Fe). Sedangkan pada kotiledon mengandung pati dan serat serta lembaga yang merupakan sumber protein dan lemak. Kacang hijau memiliki kandungan protein yang cukup tinggi yakni sebesar 22%. Kacang hijau juga memiliki kandungan serat yang sangat tinggi yaitu 4,1 gr per 100 gr kacang hijau. Kandungan serat tersebut dapat mencukupi kebutuhan serat hingga 30%. Kadar lemak pada kacang hijau memiliki kandungan yang rendah, dimana tersusun atas 27% asam lemak jenuh dan 73% asam lemak tak jenuh. Berikut tabel perbandingan kandungan protein kacang hijau dengan bahan pangan lainnya (Purwono dan Rudi, 2012) :

Tabel 2.2 Perbandingan Kandungan Protein Kacang Hijau Dengan Bahan Pangan Lainnya

No.	Bahan Pangan	Protein (%)
1.	Susu skim Kering	36
2.	Kedelai	35
3.	Kacang hijau	22
4.	Daging	19
5.	Ikan segar	17
6.	Telur ayam	13
7.	Jagung	9,2
8.	Beras	6,8
9.	Tepung singkong	1,1

Kacang hijau varietas Vima-1 merupakan varietas yang dilepas pada tahun 2008 oleh Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi (Balitkabi). Varietas ini berasal dari persilangan buatan pada tahun 1996, yang mana hasil produksinya sekitar 1,38 ton/ha. Memiliki warna kuning pada bunganya, warna hijau pada hipokotil dan daun, polong pada saat masak berwarna hitam dan bijinya berwarna hijau kusam. Varietas Vima-1 berbunga pada umur 33 hari dan umur masak 80% pada umur 57 hari serta memiliki tinggi tanaman mencapai 53 cm. Pada kacang hijau varietas Vima-1 ini memiliki kadar protein sebesar 28,02%. Varietas ini juga memiliki keunggulan diantaranya tahan penyakit embung tepung, hasil produksi tinggi dan berumur genjah (Balitkabi, 2014).



**Gambar 2.6** Kacang Hijau Varietas Vima-1

Fase pertumbuhan tanaman kacang hijau terdiri dari fase vegetatif dan fase generatif. Fase vegetatif kacang hijau yakni terjadi pada umur 0-35 hari setelah tanam, dan selebihnya adalah fase generatif. Selama fase vegetatif tanaman telah mengalami beberapa perkembangan mulai dari perkecambahan, penambahan jumlah daun, peningkatan tinggi tanaman yang diikuti dengan penambahan jumlah buku dan peningkatan bobot tanaman. Pada masa vegetatif tersebut tanaman belum menghasilkan bunga. Pembungaan pada kacang hijau di mulai sekitar hari ke 34 hari setelah tanam, jumlah bunga yang di hasilkan pada awal pembungaan meningkat dengan lambat, kemudian jumlahnya akan meningkat cepat sampai mencapai laju maksimum dan menurun serta mengakhiri masa pembuangannya. Tidak seluruh bunga yang dihasilkan tersebut dapat menjadi polong, yakni hanya sekitar 23% - 25% dari seluruh bunga yang dihasilkan yang menjadi polong sedangkan sisanya gugur. Lamanya periode berbunganya dan jumlah bunga yang dihasilkan juga tidak sama untuk setiap varietas (Madurita 2004).

### 2.2.1 Morfologi Tanaman Kacang Hijau

Morfologi tanaman kacang hijau terdiri atas akar, batang, daun, bunga, buah dan biji. Berikut deskripsi dari masing-masing bagian tanaman kacang hijau:

#### a. Akar

Tanaman kacang hijau memiliki akar yang bercabang banyak dan akarnya membentuk bintil-bintil (Nodula). Nodula atau bintil-bintil pada akar merupakan bentuk simbiosis mutualisme antara tanaman kacang-kacangan dengan bakteri nitrogen yang mengakibatkan tanaman tersebut mampu mengikat nitrogen yang bebas dari udara (Rukmana, 1997). Ada 2 sistem perakaran pada tanaman kacang hijau yaitu mesophytes dan xerophytes. Mesophytes yakni memiliki cabang akar yang banyak pada permukaan tanah dan tipe pertumbuhannya biasanya menyebar (*spreading*). Sedangkan xerophytes mempunyai akar cabang yang lebih sedikit dan memanjang ke arah bawah (Muafifah, 2006).

#### b. Batang

Batang pada tanaman kacang hijau berbentuk bulat dan berbuku-buku. Memiliki ukuran batang yang kecil, berwarna kecoklatan-coklatan atau kemerahan-merahan, dan berbulu. Batang kacang hijau tumbuh tegak dan memiliki ketinggian sekitar 60 – 100 cm. Setiap buku batang biasanya menghasilkan satu tangkai daun, kecuali pada daun pertama berupa sepasang daun yang berhadapan dan masing-masing daun berupa daun tunggal (Rukmana, 1997).

c. Daun

Kacang hijau termasuk tumbuhan majemuk yang terdiri dari tiga helai anak daun pada setiap tangkainya (Tjitrosoepomo, 1984). Daun tanaman kacang hijau dibedakan menjadi dua macam yaitu daun pertama (*primary leaves*) yang disebut dua daun tunggal yang letaknya berhadapan-hadapan pada batang utama (Somaatmadja, 1993). Daun pertama ini berbentuk oval (*ovate*) dengan ujung agak lancip (*lanceolate*). Daun-daun yang tumbuh di atas daun pertama disebut daun terminal terdiri dari tiga helaian daun atau trifoliat (Muafifah, 2006).

d. Bunga

Bunga kacang hijau besar berdiameter 1-2 cm terletak pada tandan ketiak yang tersusun atas 5-25 kuntum bunga, panjang tandan bunga 2-20 cm (Somaatmadja, 1993). Berbentuk seperti kupu-kupu dan berwarna kuning kehijauan atau kuning pucat. Bunganya dapat menyerbuk sendiri menghasilkan polong. Bunganya bersifat *cleistogami* yaitu bunga mekar setelah terjadi penyerbukan (Madurita, 2004). Proses penyerbukan terjadi pada malam hari sehingga pada pagi hari bunganya akan mekar pada sore hari menjadi layu (Muafifah, 2006).

e. Buah

Buah kacang hijau berbentuk polong dengan panjang polong sekitar 5-16 cm. Polong kacang hijau berbentuk bulat silindris atau pipih dengan ujung agak runcing atau tumpul. Polong muda berwarna hijau, ketika tua berubah menjadi kecoklatan atau kehitaman (Rukmana, 2002). Biasanya buah berbulu pendek, berbulu atau tanpa bulu, menyebar dan menggantung dan seringkali lurus (Somaatmadja, 1993).

f. Biji

Biji kacang hijau berbentuk bulat kecil berwarna hijau gelap memiliki kilap (*lastre*) yang kusam atau mengkilap diasosiasikan dengan sisa-sisa dinding polong, hilumnya pipih dan putih. Biji kacang hijau lebih kecil dibandingkan dengan biji kacang tanah atau kacang kedelai (Somaatmadja, 1993). Biji kacang hijau terdiri dari beberapa bagian yakni kulit, keping biji, pusar biji (hilum) dan embrio yang terletak diantara keping biji (Cahyono, 2007).

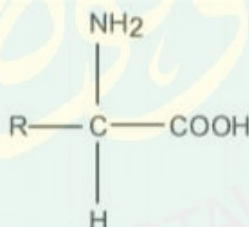
### 2.3 Protein

Protein merupakan makromolekul yang terdiri atas rantai-rantai asam amino yang terikat satu sama lain dalam ikatan peptida. Protein memiliki berat molekul yang bervariasi yakni sekitar 5000 hingga lebih dari satu juta, dengan ukuran yang bervariasi tersebut maka protein mempunyai sifat yang berbeda-beda pula (Poedjadi, 2006). Protein dapat ditemukan dalam setiap sel dan molekulnya yang terdiri dari beberapa unsur yakni C, H, N, O, S dan terkadang P, Fe, Zn dan Co. Protein menentukan ukuran sel dan struktur sel, komponen utama dari sistem komunikasi antar sel serta sebagai katalis berbagai reaksi biokimia di dalam sel (Fatchiyah, *et al.*, 2011).

Protein merupakan molekul yang sangat besar, sehingga sangat mudah mengalami perubahan bentuk fisik maupun aktivitas biologis. Terdapat banyak faktor yang menyebabkan perubahan sifat alami protein, seperti panas, asam, basa, pelarut organik, pH, garam logam berat dan sinar radiasi radioaktif (Winarno, 2004). Protein adalah bagian yang sangat penting pada sebagian besar jaringan tubuh. protein digunakan sebagai zat pembangun tubuh yang rusak,

reproduksi, mencerna makanan dan kelangsungan proses normal dalam tubuh. Sumber protein ada 2 macam yakni sumber protein nabati dan sumber protein hewani. Protein nabati banyak ditemukan pada biji-bijian dan kacang-kacangan, sayur-sayuran dan buah-buahan hanya berkontribusi dalam protein tidak terlalu banyak. Sedangkan pada protein hewani sebagian besar berasal dari daging, ikan, telur dan susu (Muchtadi, 2010).

Struktur protein terdiri dari asam amino yang disambungkan dengan ikatan peptida. Terdapat 24 asam amino yang umum untuk semua protein, tetapi nilai nutrial protein bergantung pada jumlah relatif ketersediaan asam amino. Asam amino dapat dikelompokkan berdasarkan sifat kimiawi, antara lain: asam amino dengan rantai karbon terbuka, asam amino yang bersifat basa, asam amino yang bersifat asam, asam amino dengan rantai karbon tertutup, asam amino yang mempunyai aroma dan asam amino yang mengandung ion sulfur. Struktur umum asam amino ditunjukkan seperti gambar 2.7 (Subandiyono dan Sri Hastuti, 2016).



Gambar 2.7 Struktur Umum Asam Amino

Ada 4 kelas struktur protein dalam tingkat organisasinya yakni struktur pimer, struktur sekunder, struktur tersier dan struktur kuarter. Struktur primer merupakan yang terdiri atas satu rantai protein yang asam amino penyusunnya tidak membentuk ikatan. Pada struktur sekunder rantai proteinnya dapat membentuk struktur heliks, paralel, dan antiparalel dengan membentuk ikatan

hidrogen antar asam amino pembentuknya. Struktur tersier merupakan campuran dari struktur sekunder yang menyusun satu rantai polipeptida dan ikatan yang membentuk struktur tersier adalah ikatan hidrogen, interaksi hidrofolik, jembatan disulfida dan ikatan ionik. Sedangkan struktur kuartar, struktur ini terdiri atas dua atau lebih protein yang memiliki struktur tersier.

#### 2.4 Pengaruh Radiasi Sinar Gamma Terhadap Protein

Sinar gamma merupakan jenis mutagen yang banyak digunakan untuk memproduksi varietas tanaman mutan (Soeranto, 2003). Pengaruh dari sinar gamma termasuk pada perubahan struktur sel dan metabolisme sel seperti dilasi membrane tilakoid, perubahan fotosintesis, modulasi sistem antioksidatif, dan akumulasi komponen fenolik (Winarsi, 2007). Iradiasi sinar gamma juga dapat menyebabkan modulasi pada pola protein dengan cara menginduksi keberadaan atau kehilangan beberapa pita protein (Hegazi, 2010).

Menurut Forster (2012), mutasi merupakan sumber utama dari semua variasi genetik dalam setiap organisme termasuk tanaman. Mutasi dapat terjadi karena adanya perubahan urutan (*sequence*) nukleotida pada DNA kromosom yang menyebabkan terjadinya perubahan bentuk protein enzim sehingga mampu meningkatkan keragaman tanaman. Dengan terjadinya perubahan protein, maka akan mengubah proses metabolisme di dalam sel yang mengakibatkan perubahan penampakan organismenya.

Kerusakan protein terjadi akibat serangan radikal bebas ini termasuk oksidasi protein yang mengakibatkan kerusakan jaringan tempat protein itu berada. Perubahan akibat kerusakan struktur yang dibentuk oleh interaksi

antargugus R atau kerusakan gugus R akan merusak fungsi protein yang bersangkutan. Sementara, kerusakan yang terjadi pada backbone yang dibentuk oleh ikatan peptide akan menghancurkan protein tersebut. Bagian-bagian protein(gugus R dan backbone) merupakan target reaktivitas senyawa radikal bebas (Winarsi, 2007).

Interaksi antara radikal bebas dengan protein sebagai berikut:



Efek dari sinar radiasi gamma terhadap protein mampu memutus ikatan kimia atau depolimerisasi polisakarida. Pemutusan ikatan hidrogen dapat mengubah konformasi biomolekul dan mempengaruhi aktivitas biologisnya sehingga bisa menyebabkan apoptosis atau pembelahan sel terhambat. Apoptis merupakan kematian sel yang terjadi secara normal selama masa perkembangan dan penuaan semua jaringan. Apoptosis dimulai dari kondisi stress sebagaimana kerusakan DNA yang disebabkan radiasi pengion (sinar gamma). Tahapan terjadinya apoptosis yaitu adanya sinyal kematian. Sinyal tersebut dapat terjadi secara intraseluler seperti akibat dari radiasi pengion atau ekstraseluler. Dari sinyal penginduksi ini menyebabkan protein keluar dari mitokondria. Selama pembelahan sel terhambat, mitokondria mengalami perubahan yang disebabkan gangguan oksidasi fosforilasi dan transpor elektron sehingga sintesis protein menjadi terhambat (Magfiroh, 2017).

## **BAB III METODE PENELITIAN**

### **3.1 Jenis Penelitian**

Penelitian ini merupakan jenis penelitian eksperimental. Penelitian eksperimental bertujuan untuk memperoleh data pengamatan mengenai pengaruh radiasi sinar gamma Co-60 terhadap respon morfologi dan kadar protein kacang hijau (*Vigna radiata L.*).

### **3.2 Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan Februari hingga selesai, dilakukan di Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi (PAIR) Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) Jakarta Selatan. Kemudian dilanjutkan di Rumah Kaca (Green House) Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang dan Laboratorium Fisika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.

### **3.3 Alat dan Bahan**

#### **3.3.1 Alat**

Penelitian ini menggunakan alat sebagai berikut:

1. Irradiator (Gammacell 220)
2. Sumber iradiasi (radiosotop Co<sup>60</sup>)
3. Spektofotometer
4. Neraca digital
5. Mortar dan Pestle
6. Corong

7. Pipet ukur
8. Pipet tetes
9. Beaker glass
10. Tabung Reaksi
11. Rak tabung
12. *Hand Sprayer*
13. Sekop
14. Kertas label
15. Mistar
16. ATK

### **3.3.2 Bahan**

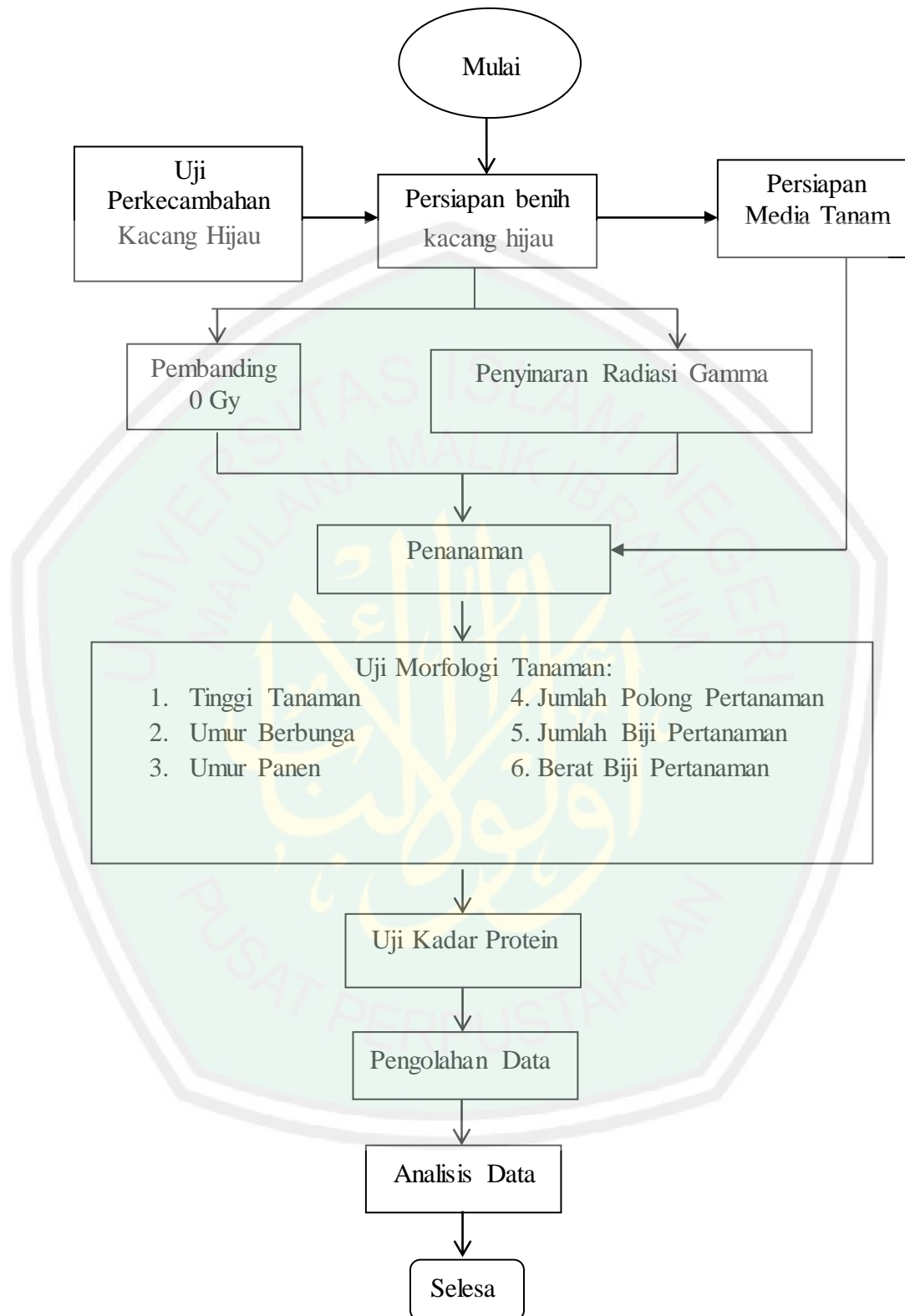
Penelitian ini menggunakan bahan sebagai berikut:

1. Benih kacang hijau varietas Vima 1
2. Tanah subur
3. Arang sekam
4. Pupuk kandang
5. Reagen Biuret
6. Aquades
7. Larutan standar Protein (BSA)
8. Polybag
9. Kantong Plastik

### 3.4 Rancangan Penelitian

Penelitian ini dimulai dari mempersiapkan benih kacang hijau varietas Vima-1 yang digunakan sebagai objek utama pemaparan radiasi. Benih kacang hijau tersebut kemudian diletakkan di iradiator Gammacell 220 dengan sumber Co-60 untuk dipapari radiasi sinar gamma dengan dosis bervariasi (5 variasi dosis mulai dari 100 – 300 Gy dengan interval 50 Gy). Pada setiap energi radiasi jumlah benih yang digunakan yakni 10 benih kacang hijau yang dikemas menggunakan kantong plastik dan pada masing-masing energi dilakukan pengulangan sebanyak 4 kali pengulangan. Selain itu, terdapat juga benih yang tidak diradiasi sebagai pembandingan antara benih yang dipapari dan tidak dipapari radiasi sinar gamma. Penelitian ini menggunakan teknik iradiasi tunggal yakni dilakukan dengan cara pemberian dosis secara langsung dalam satu kali penembakan iradiasi. Setelah benih diradiasi, benih tersebut ditanam di media tanam pada masing-masing dosis radiasi yang diberikan. Uji morfologi tanaman kacang hijau meliputi, tinggi tanaman, umur berbunga, umur panen, jumlah polong pertanaman, jumlah biji pertanaman dan berat biji pertanaman. Kacang hijau hasil radiasi kemudian di uji kandungan proteinnya dengan menggunakan metode biuret menggunakan alat spektrofotometer dengan panjang gelombang 540 nm.

### 3.5 Diagram Alir Penelitian



**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

### 3.6 Prosedur Penelitian

Prosedur pada penelitian ini terdiri dari beberapa tahap, yakni: tahap persiapan, tahap perawatan, dan tahap pengamatan yang dijelaskan sebagai berikut.

#### 3.6.1 Tahap persiapan

##### a. Persiapan Media

Media tanam yang digunakan untuk penelitian ini yakni campuran dari tanah subur, arang sekam dan pupuk kandang dengan perbandingan 1:1:1. Media tanam yang sudah tercampur tersebut kemudian dimasukkan ke dalam polybag yang berdiameter 35 x 40 cm dengan takaran yang sama rata.

##### b. Uji Perkecambahan

Uji perkecambahan dilakukan sebelum benih kacang hijau di radiasi, tujuan dari uji perkecambahan benih kacang hijau yakni untuk mengetahui kacang hijau yang layak untuk ditanam. Pengamatan ini dimulai dari persiapan kacang hijau yang akan digunakan, kemudian dicuci menggunakan air bersih. Uji perkecambahan ini dilakukan di wadah yang sudah terisi air kemudian biji kacang hijau  $\pm 50$  butir yang ukurannya cenderung sama direndam kedalam wadah yang sudah berisikan air (Gambar 3.2).



**Gambar 3.2** Uji Perkecambahan Kacang Hijau

c. Persiapan Benih

Benih yang digunakan dalam penelitian ini yaitu kacang hijau Vima 1 yang diperoleh dari Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi (Balitkabi) Malang. Ketika menyiapkan benih untuk iradiasi dilakukan seleksi terlebih dahulu untuk memilih benih yang memiliki mutu benih yang baik dan memiliki ukuran yang cenderung sama. Benih kacang hijau yang sudah di seleksi kemudian dimasukkan ke dalam kantong plastik yang mana setiap kantongnya berisi 10 benih kacang hijau pada setiap dosisnya. Benih yang sudah dihitung kemudian dimasukkan ke dalam kantong plastik dan diberi label perlakuan masing-masing.

d. Penyinaran Radiasi Sinar Gamma

Iradiasi benih dilakukan di ruang irradiator menggunakan mesin irradiator *gamma cell* 220. Gammacell 220 merupakan mesin irradiator yang menggunakan sumber energi Cobalt-60 dengan aktivitas awal 10.697 Ciuries. Laju dosis mesin irradiator *gamma cell* 220 pada saat radiasi pada kisaran 5600 gray atau 5,6 kGy/detik. Dari laju dosis tersebut dapat diketahui laju dosis per detik yaitu 1,55 Gy/detik. Benih kacang hijau (sampel) yang sudah disiapkan diletakkan ke dalam chamber pada alat *gamma cell* 220. Kemudian benih kacang hijau (sampel) dipapari sinar gamma Co-60 pada dosis 100 – 300 Gy (dengan interval 50 Gy).



**Gambar 3.3** Mesin Irradiator Gammacell 220 (A), Memasukkan Benih Ke Dalam Chamber Untuk Di Radiasi (B).

e. Penanaman

Dosis yang digunakan bervariasi (5 variasi dosis mulai dari 100 – 300 Gy dengan interval 50 Gy), selain itu juga terdapat benih yang tidak diradiasi sebagai pembandingan antara benih yang dipapari dan tidak dipapari radiasi sinar gamma. Penanaman dilakukan dengan membuat lubang tanam dengan kedalaman 1-2 cm. Kemudian benih yang telah ditanam ditutup dengan sedikit tanah dan disiram hingga cukup basah.

### 3.6.2 Tahap Perawatan

Tahap perawatan yang diberikan pada tanaman kacang hijau yakni sebagai berikut:

a. Penyiraman

Penyiraman secara teratur dilakukan setiap 2 hari sekali pada pagi hari atau sore hari.

b. Penyiangan

Penyiangan dilakukan dengan mencabut gulma atau tanaman liar yang tumbuh di media tanam, dilakukan dengan hati-hati agar tidak merusak tanaman kacang hijau.

### 3.6.3 Tahap Pengamatan

Ada beberapa pengamatan yang diamati dalam penelitian ini antara lain:

#### a. Uji Morfologi

Uji morfologi tanaman kacang hijau meliputi, tinggi tanaman, umur berbunga, umur panen, jumlah polong pertanaman, jumlah biji per tanaman, dan berat total biji.

##### 1. Tinggi Tanaman

Tinggi tanaman diukur dari pangkal batang hingga ujung tanaman. Pengukuran tinggi tanaman menggunakan penggaris atau mistar, pengukuran tinggi tanaman ini dilakukan setelah panen selesai.

##### 2. Umur Berbunga

Pengamatan ini dilakukan dengan menghitung hari yang diperlukan tanaman untuk mulai berbunga, dihitung berdasarkan jumlah hari setelah tanam.

##### 3. Umur Panen

Pengamatan ini dilakukan ketika polong kacang hijau setiap tanaman mencapai warna polong matang (hitam atau kecoklatan) kurang lebih 98% dihitung berdasarkan jumlah hari setelah tanam.

##### 4. Jumlah Polong Pertanaman

Pengamatan jumlah polong dilakukan setelah panen, dengan menghitung semua polong yang dihasilkan tiap tanaman pada masing-masing energi radiasi.

## 5. Jumlah Biji Pertanaman

Perhitungan jumlah biji perpolong dilakukan setelah pengamatan jumlah polong pertanaman dengan cara membuka polong tanaman yang telah dipanen, kemudian menghitung jumlah rata-rata biji dari setiap tanaman yang dihasilkan pada masing-masing energi radiasi.

## 6. Berat Total Biji

Berat total biji dilakukan dengan cara menimbang semua biji yang dihasilkan oleh masing-masing energi radiasi setelah perhitungan jumlah biji selesai.

### b. Uji Kadar Protein

Kacang hijau yang sudah dipanen kemudian di uji kadar proteinnya. Analisis protein yang digunakan yaitu dengan metode biuret menggunakan alat spektrofotometer. Metode biuret hanya dapat digunakan untuk protein terlarut. Sebanyak 4 ml larutan protein ditambah 6 ml pereaksi (reagen Biuret), kemudian didiamkan selama 30 menit dalam suhu ruang. Selanjutnya intensitas warna ungu larutan diukur absorbansinya dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 540 nm. Kurva standar menggunakan larutan protein serum albumin (BSA, bovine serum albumin) secara seri, yaitu dari 0,1-1,0 %. Kadar protein dihitung berdasarkan regresi kurva standar:

$$Y = a + b$$

$$XY = \text{Nilai Absorbansi}$$

$$X = \text{Konsentrasi Protein}$$

### 3.6.4 Pengolahan Data

Tabel 3.1 Pengaruh Radiasi Sinar Gamma Terhadap Respon Morfologi Tanaman Kacang Hijau

No.	Energi	TT	UB	UP	JPP	JBP	BTB
<b>Radiasi (Gy)</b>							
1.	0 (Kontrol)						
2.	100						
3.	150						
4.	200						
5.	250						
6.	300						

Keterangan:

TT = Tinggi Tanaman

UB = Umur Berbunga

UP = Umur Panen

JPP = Jumlah Polong Pertanaman

JBP = Jumlah Biji Pertanaman

BTB = Berat Total Biji

Tabel 3.2 Pengaruh Radiasi Sinar Gamma Terhadap Kadar Protein Kacang Hijau

No.	Energi Radiasi(Gy)	Kadar Protein (%)
1.	0 (Kontrol)	
2.	100	
3.	150	
4.	200	
5.	250	
6.	300	

### 3.7 Analisis Data

Data-data yang diperoleh akan dianalisis secara statistik dan deskriptif. Data yang diperoleh dari hasil pengamatan berupa data kuantitatif yang terdiri atas: tinggi tanaman, umur berbunga, umur panen, jumlah polong pertanaman, jumlah biji pertanaman, berat biji pertanaman dan kadar protein. Metode yang digunakan untuk menganalisa data yakni analisis statistik dengan menggunakan uji analisis varian dengan satu faktor (One Way Anova). Jika hasilnya menunjukkan pengaruh yang nyata maka dapat dilanjutkan dengan menggunakan uji Duncan Multiple Range Test (DMRT) dengan taraf 5% untuk mengetahui nilai beda antara tiap perlakuan. Sedangkan data yang diperoleh dideskripsikan dalam bentuk tabel. Kemudian dari data yang diperoleh tersebut dibentuk grafik pengaruh radiasi sinar gamma terhadap respon morfologi tanaman kacang hijau dan grafik pengaruh radiasi sinar gamma terhadap kadar protein kacang hijau dengan menggunakan Microsoft Excel.

## **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh radiasi sinar gamma Cobalt-60 terhadap respon morfologi dan kadar protein kacang hijau (*Vigna Radiata L.*) dengan melakukan beberapa tahapan. Tahapan pertama ialah mempersiapkan kacang hijau yang akan digunakan sebagai objek utama pemaparan radiasi. Kacang hijau yang akan digunakan sebelumnya diseleksi terlebih dahulu dengan cara memilih benih kacang hijau yang baik dan memiliki ukuran yang cenderung sama. Kemudian kacang hijau yang sudah diseleksi dimasukkan kedalam kantong plastik dan diberi label perlakuan masing-masing. Variasi energi radiasi yang digunakan yakni 100 Gy, 150 Gy, 200 Gy, 250 Gy dan 300 Gy. Tahapan kedua adalah pemaparan radiasi terhadap kacang hijau dengan menggunakan mesin irradiator gamma cell 220. Selanjutnya, pada tahapan terakhir yakni penanaman benih kacang hijau yang sudah di radiasi. Kemudian di uji respon morfologi tanaman kacang hijau dan dilanjutkan pengukuran kadar protein kacang hijau hasil panen.

### **4.1 Data Hasil Penelitian**

#### **4.1.1 Iradiasi Gamma Menggunakan Irradiator Gamma Cell 220**

Radiasi gamma terhadap sampel benih kacang hijau menggunakan Gamma Cell 220 dengan sumber radioaktif Cobalt-60. Faktor yang mempengaruhi tingkat energi radiasi yang diterima oleh sampel adalah laju radiasi dan waktu paparan. Pada laju dosis mesin irradiator gammacell 220 saat radiasi berkisar 5600 gray atau 5,6 Kgy/jam, dapat diketahui laju dosis perdetik mesin irradiator gamma cell

220 yaitu 1,55 Gy/detik. Waktu lama radiasi ditentukan dari dosis yang akan diberikan pada tiap materi dan juga laju dosis yang sedang berjalan pada saat akan dilakukan radiasi. Waktu radiasi benih tergantung pada energi radiasi yang digunakan (Tabel 4.1). Semakin tinggi energi radiasi yang digunakan maka semakin banyak waktu yang diperlukan untuk proses radiasi. Untuk menghitung energi radiasi yang diterima oleh suatu materi secara matematis dapat dituliskan seperti berikut:

$$D = t \times v \dots\dots\dots (4.1)$$

Keterangan:

D = Energi radiasi (Gray)

t = waktu penyinaran (detik)

v = laju energi radiasi (Gray/detik)

**Tabel 4.1** Waktu Radiasi Benih Kacang Hijau Varietas Vima-1

Energi Radiasi (Gy)	Laju Energi (Gy/s)	Waktu Penyinaran (s)
100	1,55	64,5
150	1,55	96,7
200	1,55	129,03
250	1,55	161,3
300	1,55	193,5

#### 4.1.2 Data Hasil Pengukuran Respon Morfologi Tanaman Kacang Hijau

Berdasarkan hasil uji Anova dan uji Duncan Multiple Range Test (DMRT) 5% pemberian energi radiasi yang bervariasi berpengaruh terhadap respon morfologi tanaman kacang hijau meliputi tinggi tanaman, umur berbunga, umur

panen, jumlah polong pertanaman, jumlah biji pertanaman dan berat total biji yang diketahui dari data hasil berikut:

### 1. Data Hasil Penelitian dan Analisis Tinggi Tanaman Kacang Hijau

#### a) Data Tinggi Tanaman Kacang Hijau

Pengambilan data tinggi tanaman kacang hijau dilakukan setelah panen, diukur mulai dari pangkal batang hingga ujung tanaman menggunakan penggaris. Berdasarkan pengamatan, pengaruh pada pemberian energi radiasi sinar gamma terhadap tinggi tanaman kacang hijau, yang dipaparkan dalam bentuk tabel 4.2.

**Tabel 4.2** Data Tinggi Tanaman Kacang Hijau

Energi Radiasi (Gy)	Rata-Rata Tinggi Tanaman Perulangan (cm)				Rata-Rata Tinggi Tanaman (cm)
	I	II	III	IV	
	0 (Kontrol)	49,7	49,9	50,2	
100	45,95	45,6	46,1	46,6	46,06 b
150	44,85	45,35	44,1	44,6	44,87 c
200	44,65	45,1	44,7	45,05	44,72 c
250	43,45	42,1	41,15	41,75	42,11 d
300	41,45	41,05	40,3	41,25	41,01 e

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom rata-rata tinggi tanaman menunjukkan tidak berbeda nyata dan penyebutan huruf (a, b, c, d dan e) menunjukkan notasi perbedaan nilai berdasarkan uji DMRT 5%.

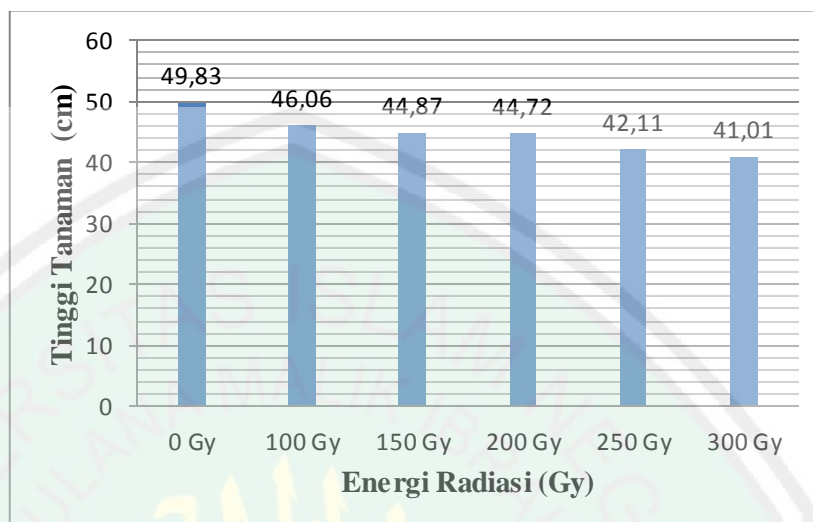
Hasil dari pengamatan rata-rata tinggi tanaman kacang hijau diatas menunjukkan bahwa terdapat perbedaan tinggi tanaman antara sampel kontrol dan sampel pemberian energi radiasi sinar gamma dengan

signifikansi  $\leq 0,05$ . Pada tanaman kontrol rata-rata tinggi tanaman mencapai 49,83 cm, sedangkan pada sampel yang diberi energi radiasi 100 Gy rata-rata tinggi tanaman yaitu 46,06 cm. Pada energi radiasi 150 Gy rata-rata tinggi tanaman mencapai 44,87 cm, adapun pada energi radiasi 200 Gy rata-rata tinggi tanaman sebesar 44,72 cm. Ketika sampel diberikan energi radiasi 250 Gy rata-rata tinggi tanaman mencapai 42,11 cm dan pada energi radiasi 300 Gy rata-rata tinggi tanaman semakin rendah yaitu 41,01 cm.

Pada hasil uji DMRT 5% diatas menunjukkan bahwa pada semua perlakuan energi radiasi berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman. Namun pada pemberian energi radiasi 150 Gy dan 200 Gy menunjukkan satu notasi yang sama yang artinya keduanya tidak menunjukkan perbedaan nilai (karena berada pada kolom tabel yang sama pada tabel hasil uji DMRT 5%). Sedangkan pada perlakuan 300 Gy berbeda sangat nyata terhadap perlakuan kontrol (karena terletak di kolom tabel yang jauh dari perlakuan kontrol pada tabel hasil uji DMRT 5%). Semakin besar energi radiasi yang diberikan maka rata-rata tinggi tanaman mengalami penurunan. Tinggi tanaman yang hampir menyerupai tanaman kontrol dijumpai pada dosis 100 Gy. Rata-rata tinggi tanaman pada perlakuan 100 Gy menghasilkan nilai yang hampir mendekati rata-rata tinggi tanaman sampel kontrol.

b) Analisis Data Tinggi Tanaman Kacang Hijau

Hasil pengukuran data tinggi tanaman kacang hijau pada tabel 4.2 dapat di analisa dengan menggunakan grafik ditunjukkan pada gambar 4.1.



**Gambar 4.1** Grafik Pengaruh Energi Radiasi Terhadap Tinggi Tanaman Kacang Hijau

Pada gambar 4.1 menunjukkan grafik pengaruh energi radiasi gamma terhadap tinggi tanaman kacang hijau. Pada grafik tersebut dapat diketahui bahwa rata-rata tinggi tanaman kontrol sebesar 49,83 cm dan pada penelitian ini dengan menggunakan energi radiasi yang bervariasi maka tinggi tanaman pada tanaman kacang hijau juga bervariasi. Pada pemberian energi radiasi 100-300 Gy didapat nilai tinggi tanaman menurun dari 46,06 cm ke 41,01 cm.

Berdasarkan grafik diatas menunjukkan efek dari energi radiasi sinar gamma yang mampu menurunkan tinggi tanaman. Penurunan tinggi tanaman tersebut diduga disebabkan oleh sinar gamma yang merusak susunan kromosom atau mutasi sel. Hal ini sesuai dengan pernyataan Ritonga dan Wulansari (2010) yaitu semakin tinggi energi radiasi maka semakin menurun tinggi tanaman, penurunan tinggi tanaman tersebut terjadi

karena iradiasi dapat merusak kromosom tanaman, sehingga mengakibatkan terganggunya tanaman tersebut. Pada penelitian lain yang dilakukan oleh Hanafiah *et al* (2010) yang mengatakan bahwa, energi radiasi secara signifikan juga mempengaruhi tinggi tanaman, dimana semakin tinggi energi radiasi yang diberikan maka tinggi rata-rata tanaman akan semakin menurun. Hal ini juga dinyatakan oleh Rici (2009) dalam penelitiannya bahwa semakin tinggi dosis radiasi yang diberikan pada tanaman kedelai maka akan semakin besar pula tingkat kerusakan dan penghambatan pertumbuhan tanaman itu.

## 2. Data Hasil Penelitian dan Analisis Umur Berbunga Tanaman Kacang Hijau

### a) Data Umur Berbunga Tanaman Kacang Hijau

Pengambilan data umur berbunga tanaman kacang hijau dilakukan dengan menghitung hari yang diperlukan tanaman untuk mulai berbunga, dihitung berdasarkan jumlah hari setelah tanam. Berdasarkan pengamatan, pengaruh pada pemberian energi radiasi sinar gamma terhadap umur berbunga tanaman kacang hijau, yang dipaparkan dalam bentuk tabel 4.3.

**Tabel 4.3** Data Umur Berbunga Tanaman Kacang Hijau Energi Rata-Rata Umur Berbunga Rata-Rata Umur Radiasi (Gy) Perulangan (hari) Berbunga (hari)

Radiasi (Gy)	Perulangan (hari)				Rata-Rata Umur Berbunga (hari)
	I	II	III	IV	
0 (Kontrol)	25,3	26,5	26,3	25,8	25,97 a
100	26,4	26,8	26,8	27,6	26,9 b
150	29	29,2	29,3	29,4	29,22 c
200	32,7	32,8	32,6	32,7	32,7 d
250	33	34	33,8	34	33,7 e
300	39,9	40,7	40,9	41,4	40,7 f

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom rata-rata umur berbunga menunjukkan tidak berbeda nyata dan penyebutan huruf (a, b, c, d, e dan f) menunjukkan notasi perbedaan nilai berdasarkan uji DMRT 5%.

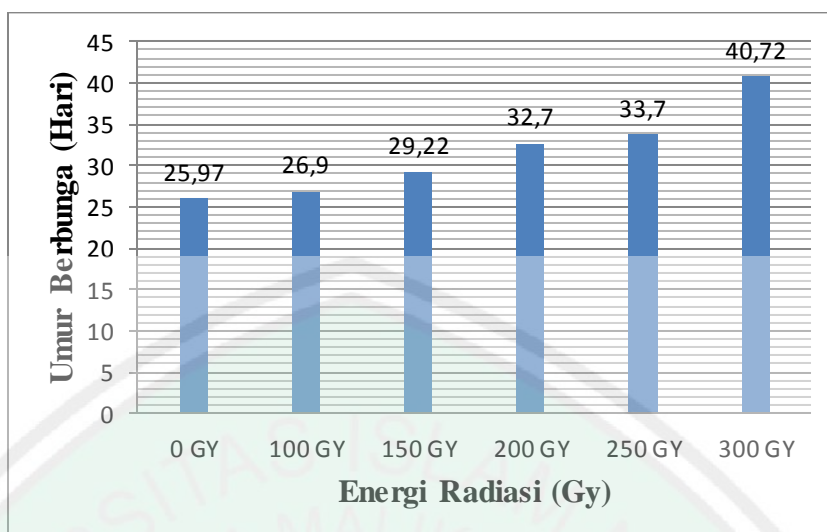
Hasil pengamatan diatas menunjukkan bahwa terdapat perbedaan umur berbunga antara sampel kontrol dengan sampel yang dipapari radiasi sinar gamma dengan signifikansi  $\leq 0,05$ . Pada sampel kontrol rata-rata umur berbunga mencapai 25,97 hari. Ketika sampel diberikan energi radiasi 100 Gy rata-rata umur berbunga tanaman sebesar 26,9 hari. Sedangkan pada energi radiasi 150 Gy rata-rata umur berbunga mengalami kenaikan yaitu 29,22 hari. Semakin ditambah energi radiasi sinar gamma rata-rata umur berbunga tanaman mengalami kenaikan hingga pada energi radiasi 200 Gy mencapai 32,7 hari, sedangkan pada sampel yang diberi perlakuan energi radiasi 250 Gy rata-rata umur berbunga tanaman sebesar 33,7 hari. Sampel terakhir dengan energi radiasi sinar gamma 300 Gy rata-rata umur berbunga mencapai 40,7 hari.

Berdasarkan uji DMRT 5% (Lampiran 3) menunjukkan bahwa pada perlakuan 100 Gy hingga 250 Gy menunjukkan perbedaan yang nyata terhadap perlakuan kontrol (karena terletak di kolom tabel yang lebih dekat dari perlakuan kontrol pada tabel hasil uji DMRT 5%). Sedangkan pada energi radiasi 300 Gy berbeda sangat nyata terhadap kontrol (karena terletak di kolom tabel yang jauh dari perlakuan kontrol pada tabel hasil uji DMRT 5%). Berdasarkan tabel diatas perlakuan energi radiasi 100 Gy menghasilkan umur berbunga yang lebih cepat daripada umur berbunga pada perlakuan energi radiasi lainnya. Energi radiasi 100 Gy menghasilkan umur berbunga yang hampir mendekati umur berbunga sampel kontrol.

b) Analisis Data Umur Berbunga Tanaman Kacang Hijau Umur Berbunga

Tanaman Kacang Hijau

Berdasarkan data umur berbunga tanaman kacang hijau pada tabel 4.3 dapat dilakukan analisis data dengan memplot data umur berbunga tanaman kacang hijau pada sebuah grafik. Gambar 4.2 berikut merupakan grafik hubungan antara energi radiasi dengan umur berbunga tanaman kacang hijau.



**Gambar 4.2** Grafik Pengaruh Energi Radiasi Terhadap Umur Berbunga Tanaman Kacang Hijau

Gambar 4.2 menunjukkan grafik pengaruh energi radiasi gamma terhadap umur berbunga tanaman kacang hijau. Pada grafik tersebut dapat diketahui bahwa rata-rata umur berbunga tanaman kontrol sebesar 25,97 hari dan ketika sampel dipapari energi radiasi yang bervariasi maka umur berbunga pada tanaman kacang hijau juga bervariasi. Pada pemberian dosis iradiasi 100 - 300 Gy didapat nilai rata-rata umur berbunga tanaman naik dari 26,9 hari ke 40,72 hari.

Pada grafik tersebut menunjukkan efek dari energi radiasi sinar gamma yang mampu memperlambat umur berbunga tanaman. Pemberian energi radiasi sinar gamma yang semakin tinggi maka mengakibatkan semakin lama umur berbunga tanaman kacang hijau. Seperti yang dikemukakan oleh Khan dan Tyagi (2013) yang menyatakan bahwa pertumbuhan tanaman akan terhambat dan menurun sesuai dengan meningkatnya energi radiasi yang lebih tinggi. Sedangkan menurut Sukaya dan Sri Hartati (2005) menyatakan bahwa tertundanya berbunga tanaman dapat disebabkan karena

pengaruh radiasi yang akan mempengaruhi sintesa auksin, yang akan berpengaruh pada pertumbuhan dan perkembangan tanaman.

### 3. Data Hasil Penelitian dan Analisis Umur Panen Tanaman Kacang Hijau

#### a) Data Umur Panen Tanaman Kacang Hijau

Pengambilan data umur panen tanaman kacang hijau dilakukan ketika polong kacang hijau setiap tanaman mencapai warna polong matang (hitam atau kecoklatan) kurang lebih 98% dihitung berdasarkan jumlah hari setelah tanam. Berdasarkan pengamatan, pengaruh pada pemberian energi radiasi sinar gamma terhadap umur panen tanaman kacang hijau, yang dipaparkan dalam bentuk tabel 4.4.

**Tabel 4.4** Data Umur Panen Tanaman Kacang Hijau

Energi Radiasi (Gy)	Rata-Rata Umur Panen Perulangan (hari)				Rata-Rata Umur Panen (hari)
	I	II	III	IV	
	0 (Kontrol)	60,4	60,5	60,7	
100	63,2	63	63,2	63,6	63,2 b
150	63,7	63,8	64,1	64,3	63,9 c
200	67,9	67,6	67,4	67,5	67,6 d
250	73,3	72,9	73,4	73,6	73,3 e
300	77	76,9	77,7	77,5	77,2 f

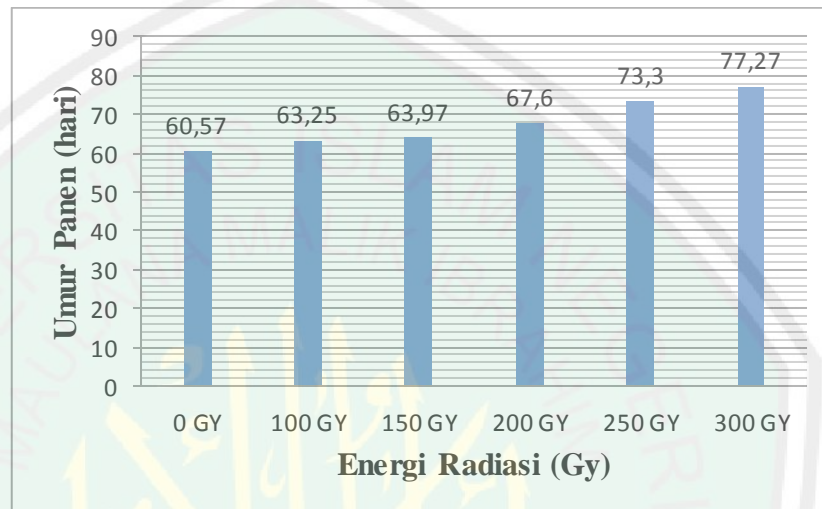
**Keterangan:** Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom rata-rata umur panen menunjukkan tidak berbeda nyata dan penyebutan huruf (a, b, c, d, e dan f) menunjukkan notasi perbedaan nilai berdasarkan uji DMRT 5%.

Hasil dari pengamatan rata-rata umur panen kacang hijau diatas menunjukkan bahwa terdapat perbedaan umur panen antara sampel kontrol dan sampel pemberian energi radiasi sinar gamma dengan signifikansi  $\leq 0,05$ . Pada tabel diatas, diperoleh bahwa pada sampel kontrol rata-rata umur panen yakni selama 60,5 hari, sedangkan pada sampel yang dipapari energi radiasi 100 Gy rata-rata umur panen sebesar 63,2 hari. Pada sampel yang diberi perlakuan energi radiasi 150 Gy rata-rata umur panen mencapai 63,9 hari, adapun sampel yang diberi perlakuan 200 Gy rata-rata umur panen semakin bertambah yakni mencapai 67,6 hari. Sedangkan sampel yang diberi perlakuan energi radiasi 250 Gy rata-rata umur panen sebesar 73,3 hari dan sampel terakhir dengan energi radiasi 300 Gy semakin tinggi yakni selama 77,2 hari.

Berdasarkan hasil uji DMRT 5% perlakuan energi radiasi 100 Gy – 250 Gy berpengaruh nyata terhadap perlakuan kontrol (karena terletak di kolom tabel yang lebih dekat dari perlakuan kontrol pada tabel hasil uji DMRT 5%), sedangkan pada energi radiasi 300 Gy berbeda sangat nyata terhadap kontrol (karena terletak di kolom tabel yang lebih jauh dari perlakuan kontrol pada tabel hasil uji DMRT 5%). Umur panen yang hampir menyerupai tanaman kontrol dijumpai pada energi radiasi 100 Gy. Rata-rata umur panen tanaman kacang hijau yang tercepat yakni pada energi radiasi 100 Gy yakni selama 63,2 hari. Sedangkan rata-rata umur panen tanaman terlama yakni pada perlakuan 300 Gy selama 77,2 hari.

b) Analisis Data Umur Panen Tanaman Kacang Hijau

Berdasarkan data umur panen tanaman kacang hijau pada tabel 4.4 dapat dilakukan analisis data dengan memplot data umur panen tanaman kacang hijau pada sebuah grafik. Gambar 4.3 berikut merupakan grafik hubungan antara energi radiasi dengan umur panen tanaman kacang hijau.



**Gambar 4.3** Grafik Pengaruh Energi Radiasi Terhadap Umur Panen Tanaman Kacang Hijau

Pada gambar 4.3 menunjukkan grafik pengaruh energi radiasi gamma terhadap umur panen tanaman kacang hijau. Pada gambar tersebut dapat diketahui bahwa rata-rata umur panen tanaman kontrol sebesar 60,57 hari. Pada pemberian dosis iradiasi 100 - 300 Gy didapat nilai rata-rata umur panen tanaman yang semakin naik dari 60,57 hari ke 77,27 hari.

Pada grafik tersebut menunjukkan efek dari energi radiasi sinar gamma yang mampu memperlambat umur panen tanaman. Pemberian energi radiasi sinar gamma yang semakin tinggi maka semakin lama umur panen tanaman kacang hijau. Umur panen tanaman yang semakin lama dipengaruhi oleh umur berbunga yang juga semakin lama. Radiasi menyebabkan perubahan

pada susunan kromosom dan DNA, sehingga merangsang timbulnya mutasi yang berpengaruh pada metabolisme tumbuh tanaman dan tanaman semakin lama dipanen. Seperti yang dikemukakan oleh Aryanto (2008), teknik radiasi sinar gamma menimbulkan efek genetika berupa terjadinya perubahan struktur dan komposisi pada kromosom yang menimbulkan mutasi pada keturunan dengan sifat yang berbeda dengan induknya. Sedangkan menurut Sukaya dan Sri Hartati (2005), perlakuan energi radiasi sinar gamma dapat menghambat sehingga secara langsung dapat berpengaruh terhadap umur panen.

#### 4. Data Hasil Penelitian dan Analisis Jumlah Polong Pertanaman Tanaman Kacang Hijau

##### a) Data Jumlah Polong Pertanaman Tanaman Kacang Hijau

Pengambilan data jumlah polong dilakukan setelah panen, dengan cara menghitung semua polong yang dihasilkan tiap tanaman pada masing-masing energi radiasi. Berdasarkan pengamatan, pengaruh pada pemberian energi radiasi sinar gamma terhadap jumlah polong pertanaman tanaman kacang hijau, yang dipaparkan dalam bentuk tabel 4.5.

**Tabel 4.5** Data Jumlah Polong Pertanaman Tanaman Kacang Hijau  
**Energi Rata-Rata Jumlah Polong Rata-Rata Jumlah**  
**Radiasi(Gy) Perulangan (Buah) Polong (Buah)**

	Perulangan (Buah)				Polong (Buah)
	I	II	III	IV	
0 (Kontrol)	3,4	3,8	3,4	3,4	3,5 a
100	3,1	3,1	3,1	3	3,075 b
150	3	3	3	3	3 b
200	3	3	3,1	2,9	3 b
250	2,9	3	2,9	3	2,95 b
300	2	1,8	1,7	1,8	1,82 c

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom rata-rata jumlah polong pertanaman menunjukkan tidak berbeda nyata dan penyebutan huruf (a,b dan c) menunjukkan notasi perbedaan nilai berdasarkan uji DMRT 5%.

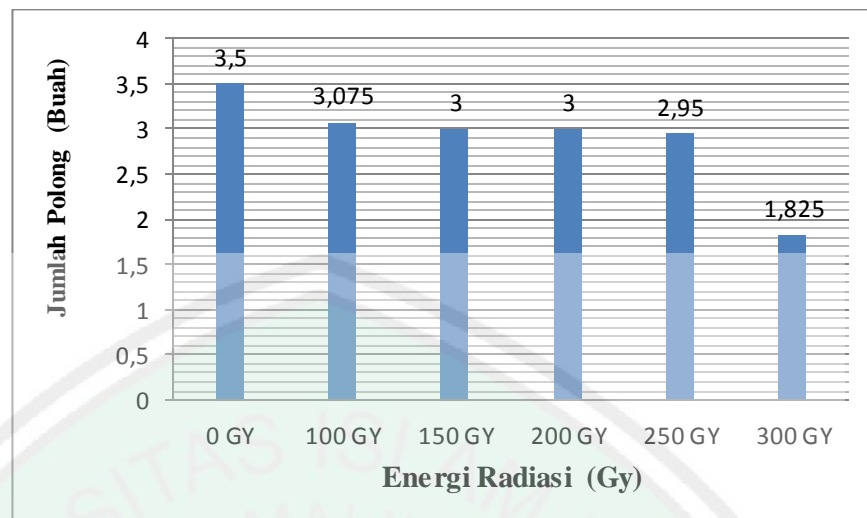
Pada hasil dari pengamatan rata-rata jumlah polong pertanaman kacang hijau diatas menunjukkan bahwa terdapat perbedaan jumlah polong pertanaman antara sampel kontrol dan sampel perlakuan energi radiasi sinar gamma dengan signifikansi  $\leq 0,05$ . Hasil pengamatan dan perhitungan rata-rata jumlah polong pertanaman kacang hijau, diperoleh bahwa pada sampel kontrol rata-rata jumlah polong pertanaman mencapai 3,5 buah, sedangkan pada sampel yang diberi perlakuan energi radiasi 100 Gy didapat rata-rata jumlah polong pertanaman sebesar 3,075 buah. Pada energi radiasi 150 Gy dan 200 Gy rata-rata jumlah polong pertanaman sama yaitu 3 buah. Sedangkan pada sampel yang diberi perlakuan energi radiasi 250 Gy rata-rata jumlah polong pertanaman sebesar 2,95 buah dan pada sampel terakhir

dengan energi radiasi 300 Gy didapat rata-rata jumlah polong pertanaman sebesar 1,82 buah.

Pada Tabel 4.5 diatas menunjukkan bahwa rata-rata jumlah polong pertanaman pada perlakuan 100 Gy hingga 250 Gy berbeda nyata dari perlakuan kontrol (karena terletak di kolom tabel yang lebih dekat dari perlakuan kontrol pada tabel hasil uji DMRT 5%), sedangkan pada energi radiasi 300 Gy berbeda sangat nyata terhadap perlakuan kontrol (karena terletak di kolom tabel yang lebih jauh dari perlakuan kontrol pada tabel hasil uji DMRT 5%). Pada pemberian energi dosis 100 Gy, 150 Gy, 200 Gy dan 250 Gy menunjukkan notasi yang sama yang artinya ke empat perlakuan tersebut tidak terdapat perbedaan nyata (karena terletak di kolom tabel yang sama pada tabel hasil uji DMRT 5%). Pada perlakuan 100 Gy, 150 Gy, 200 Gy dan 250 Gy menghasilkan jumlah polong yang lebih baik daripada perlakuan 300 Gy. Keempat perlakuan tersebut menghasilkan jumlah polong pertanaman yang hampir mendekati jumlah polong pertanaman sampel kontrol.

b) Analisis Data Jumlah Polong Pertanaman Tanaman Kacang Hijau

Berdasarkan data jumlah polong pertanaman tanaman kacang hijau pada tabel 4.5 dapat dilakukan analisis data dengan memplot data jumlah polong pertanaman tanaman kacang hijau pada sebuah grafik. Gambar 4.4 berikut merupakan grafik hubungan antara energi radiasi dengan jumlah polong pertanaman tanaman kacang hijau.



**Gambar 4.4** Grafik Pengaruh Energi Radiasi Terhadap Jumlah Polong Pertanaman Tanaman Kacang Hijau

Pada gambar 4.4 menunjukkan grafik pengaruh energi radiasi gamma terhadap jumlah polong pertanaman tanaman kacang hijau. Pada grafik tersebut dapat diketahui bahwa rata-rata jumlah polong kontrol sebesar 3,5 cm dan pada penelitian ini dengan menggunakan energi radiasi yang bervariasi maka rata-rata jumlah polong pertanaman tanaman kacang hijau juga bervariasi. Pada grafik tersebut dapat diketahui bahwa rata-rata jumlah polong pertanaman menurun dari 3,075 buah ke 1,825 buah pada energi radiasi gamma 100 Gy sampai 300 Gy, terlihat bahwa jumlah polong mengalami penurunan dibandingkan dengan kontrol.

Pada grafik tersebut menunjukkan efek dari energi radiasi sinar gamma yang mampu menurunkan jumlah polong pertanaman. Buah atau polong kacang hijau berkembang dari bunga yang berhasil melakukan pembuahan dengan sempurna dan tidak semua bunga menghasilkan polong atau buah. Jumlah polong pertanaman terlihat menurun seiring dengan meningkatnya energi radiasi sinar gamma. Marwiyah, dkk (2017) pada penelitiannya

menyatakan bahwa pemberian energi radiasi sinar gamma yang semakin tinggi mengakibatkan jumlah polong pertanaman menurun. Pada jumlah polong yang semakin rendah ini diduga karena adanya efek mutasi yang mengakibatkan kegagalan dalam pembentukan polong. Seperti yang dikemukakan oleh Widayati (2012), yang menyatakan bahwa efek mutasi menyebabkan kegagalan dalam pembentukan polong. Kegagalan dalam pembentukan polong dapat disebabkan karena adanya kerusakan pada DNA maupun sel tanaman akibat paparan sinar gamma sehingga berpengaruh pada metabolisme tanaman.

#### 5. Data Hasil Penelitian dan Analisis Jumlah Biji Pertanaman Tanaman Kacang Hijau

##### a) Data Jumlah Biji Pertanaman Tanaman Kacang Hijau

Pengambilan data jumlah biji perpolong dilakukan setelah pengamatan jumlah polong pertanaman dengan cara membuka polong tanaman, kemudian menghitung jumlah rata-rata biji dari setiap tanaman yang dihasilkan pada masing-masing energi radiasi. Berdasarkan pengamatan, pengaruh pada pemberian energi radiasi sinar gamma terhadap jumlah biji pertanaman tanaman kacang hijau, yang dipaparkan dalam bentuk tabel 4.6.

**Tabel 4.6** Data Jumlah Biji Pertanaman Tanaman Kacang Hijau

Energi Radiasi i (Gy)	Rata-Rata Jumlah Biji				Rata-Rata Jumlah Biji (Buah)
	Perulangan (Buah)				
	I	II	III	IV	
0 (Kontrol)	25,2	22,9	23,9	23,1	23,77 a
100	18,3	18	18	18,2	18,12 b
150	17,9	17,7	17,8	17,2	17,65 b
200	17,1	16,3	16,3	16,4	16,52 c
250	16,9	14,8	14,9	14,4	15,22 d
300	8,4	7,2	8	7,8	7,85 e

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom rata-rata jumlah biji pertanaman menunjukkan tidak berbeda nyata dan penyebutan huruf (a,b,c,d dan e) menunjukkan notasi perbedaan nilai berdasarkan uji DMRT 5%.

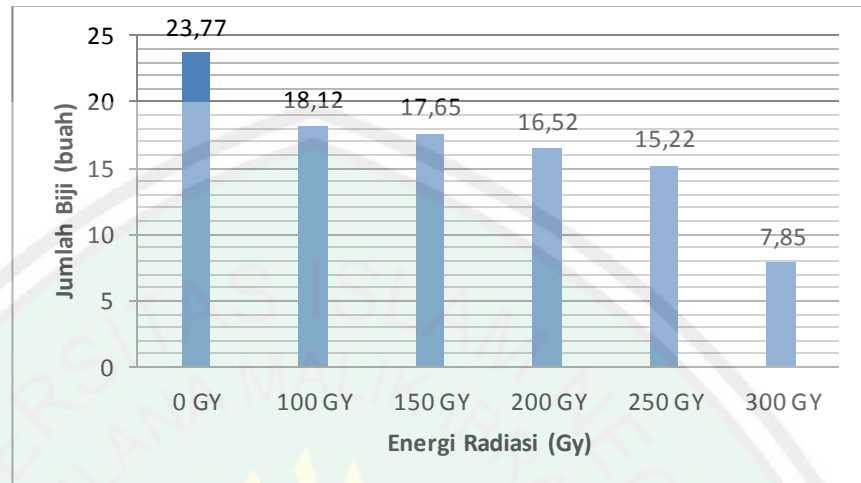
Berdasarkan hasil dari pengamatan rata-rata jumlah biji pertanaman kacang hijau diatas menunjukkan bahwa terdapat perbedaan jumlah biji pertanaman antara sampel kontrol dan sampel pemberian energi radiasi sinar gamma dengan signifikansi  $\leq 0,05$ . Hasil dari pengamatan dan perhitungan rata-rata jumlah biji pertanaman tanaman kacang hijau, diperoleh bahwa rata-rata pada sampel kontrol sebanyak 23,77 buah, pada sampel yang diberi perlakuan energi radiasi 100 Gy rata-rata jumlah biji pertanaman sebanyak 18,12 buah. Kemudian pada sampel 150 Gy didapat nilai rata-rata jumlah biji pertanaman sebesar 17,65 buah, sedangkan pada energi radiasi 200 Gy rata-rata jumlah biji pertanaman mencapai 16,52 buah. Adapun pada energi radiasi 250 Gy rata-rata jumlah biji pertanaman yakni 15,22 buah, dan pada

sampel terakhir yang diberi energi radiasi 300 Gy rata-rata jumlah biji pertanaman semakin menurun yaitu mencapai 7,85 buah.

Pada hasil uji DMRT 5% diatas dapat diketahui bahwa pada semua perlakuan energi radiasi berpengaruh nyata terhadap jumlah biji pertanaman. Namun pada pemberian energi radiasi 100 Gy dan 150 Gy menunjukkan satu notasi yang sama yang artinya keduanya tidak menunjukkan perbedaan yang nyata (karena terletak di kolom tabel yang sama pada tabel hasil uji DMRT 5%). Sedangkan pada energi radiasi 300 Gy nilai rata-rata jumlah biji pertanaman berbeda sangat nyata terhadap perlakuan kontrol (karena terletak di kolom tabel yang lebih jauh dari perlakuan kontrol pada tabel hasil uji DMRT 5%). Rata-rata jumlah biji pertanaman yang hampir mendekati tanaman kontrol dapat dijumpai pada energi radiasi 100 Gy dan 150 Gy.

#### b) Analisis Data Jumlah Biji Pertanaman Tanaman Kacang Hijau

Berdasarkan data jumlah biji pertanaman tanaman kacang hijau pada tabel 4.6 dapat dilakukan analisis data dengan memplot data jumlah biji pertanaman tanaman kacang hijau pada sebuah grafik. Gambar 4.5 berikut merupakan grafik hubungan antara energi radiasi dengan jumlah biji pertanaman tanaman kacang hijau.



**Gambar 4.5** Grafik Pengaruh Energi Radiasi Terhadap Jumlah Biji Pertanaman Tanaman Kacang Hijau

Berdasarkan gambar 4.5 menunjukkan grafik pengaruh energi radiasi gamma terhadap jumlah biji pertanaman tanaman kacang hijau. Pada grafik tersebut dapat diketahui bahwa rata-rata jumlah biji pertanaman menurun dari 18,12 buah ke 7,85 buah pada energi radiasi gamma 100 Gy sampai 300 Gy. Sedangkan pada perlakuan kontrol didapat nilai yang lebih tinggi dengan rata-rata jumlah biji pertanaman sebesar 23,77 buah.

Pada grafik tersebut menunjukkan efek dari energi radiasi sinar gamma yang mampu menurunkan jumlah biji pertanaman tanaman kacang hijau. Jumlah biji kacang hijau tergantung pada jumlah polong yang dihasilkan, namun tidak semua polong menghasilkan biji penuh. Rendahnya jumlah biji setiap tanaman disebabkan oleh rendahnya jumlah polong yang dihasilkan setiap tanaman. Berdasarkan grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa penggunaan energi radiasi sinar gamma yang lebih tinggi dapat

menurunkan jumlah biji tanaman kacang hijau. Menurut laporan Haidar *et al* (2016) bahwa meningkatnya energi sinar gamma dari 100-600 Gy menyebabkan menurunnya pertumbuhan tanaman dan jumlah biji tanaman jagung. Jumlah biji yang rendah tersebut diduga karena adanya efek mutasi yang mengakibatkan kegagalan dalam pembentukan biji. Radiasi sinar gamma mengakibatkan kerusakan pada DNA maupun sel tanaman sehingga berpengaruh pada metabolisme tanaman.

#### 6. Data Hasil Penelitian dan Analisis Berat Total Biji Kacang Hijau

##### a) Data Hasil Berat Total Biji Kacang Hijau

Pengambilan data berat total biji dilakukan ketika perhitungan jumlah biji pertanaman selesai, dengan cara menimbang semua biji yang dihasilkan oleh masing-masing energi radiasi. Berdasarkan pengamatan, pengaruh pada pemberian energi radiasi sinar gamma terhadap berat total biji kacang hijau, yang dipaparkan dalam bentuk tabel 4.7.

**Tabel 4.7** Data Berat Total Biji Kacang Hijau

Energi Radiasi (Gy)	Rata-Rata Berat Total Biji Perulangan (gr)				Rata-Rata Berat Total Biji (gr)
	I	II	III	IV	
	0 (Kontrol)	12,09	12,75	12,88	
100	9,8	9,93	9,75	9,66	9,78 b
150	9,7	9,6	9,44	9,43	9,54 b
200	9,6	9,36	9,13	9,27	9,34 b
250	9,3	8,29	8,4	8,74	8,68 c
300	4,89	4,43	4,38	4,32	4,5 d

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom rata-rata berat total biji menunjukkan tidak berbeda nyata dan penyebutan huruf (a,b,c dan d) menunjukkan notasi perbedaan nilai berdasarkan uji DMRT 5%.

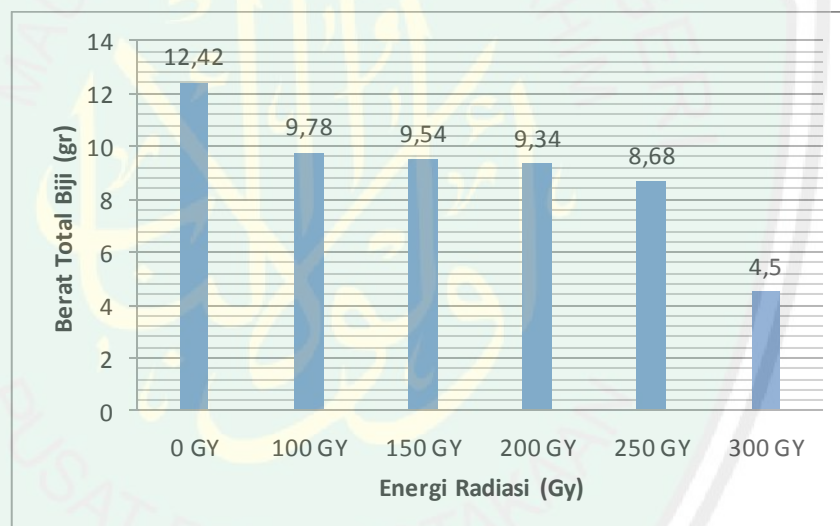
Berdasarkan hasil dari pengamatan rata-rata berat total biji kacang hijau diatas menunjukkan bahwa terdapat perbedaan berat total biji antara sampel kontrol dan sampel pemberian energi radiasi sinar gamma dengan signifikansi  $\leq 0,05$ . Hasil pengamatan dan perhitungan rata-rata berat total biji tanaman kacang hijau, diperoleh bahwa pada tanaman kontrol nilai rata-rata berat total biji mencapai 12,42 gram. Kemudian pada sampel yang diberi perlakuan energi radiasi 100 Gy rata-rata berat total biji sebesar 9,78 gram, sedangkan pada sampel 150 Gy didapat rata-rata berat total biji sebesar 9,54 gram. Pada sampel yang diberi perlakuan energi radiasi 200 Gy rata-rata berat total biji yakni sebesar 9,34 gram, dan pada perlakuan energi radiasi 250 Gy didapat rata-rata berat total biji sebesar 8,68 gram. Sedangkan pada sampel terakhir dengan energi radiasi 300 Gy rata-rata berat total biji semakin menurun yakni mencapai 4,5 gram.

Pada hasil uji DMRT 5% tabel diatas dapat diketahui bahwa semua perlakuan dari energi radiasi 100 Gy – 250 Gy menunjukkan perbedaan yang nyata dengan perlakuan kontrol (karena terletak di kolom tabel yang dekat dari perlakuan kontrol pada tabel hasil uji DMRT 5%). Sedangkan pada energi radiasi 300 Gy hasil rata-rata berat total biji kacang hijau menunjukkan perbedaan yang sangat nyata dengan perlakuan kontrol(karena terletak di kolom tabel yang jauh dari perlakuan kontrol pada tabel hasil uji DMRT 5%). Pada energi radiasi 100 Gy, 150 Gy dan 200 Gy menunjukkan notasi yang sama dengan artian ketiga perlakuan tersebut tidak

menunjukkan perbedaan yang nyata (karena terletak di kolom tabel yang sama pada tabel hasil uji DMRT 5%). Rata-rata berat total biji kacang hijau yang hampir mendekati rata-rata berat total biji sampel kontrol dijumpai pada energi radiasi 100 Gy, 150 Gy, dan 200 Gy.

b) Analisis Data Berat Total Biji Kacang Hijau

Berdasarkan data berat total biji tanaman kacang hijau pada tabel 4.7 dapat dilakukan analisis data dengan memplot berat total biji tanaman kacang hijau pada sebuah grafik. Gambar 4.6 berikut merupakan grafik hubungan antara energi radiasi dengan berat total biji kacang hijau.



**Gambar 4.6** Grafik Pengaruh Energi Radiasi Terhadap Berat Total Biji Kacang Hijau

Pada gambar 4.6 menunjukkan grafik pengaruh energi radiasi gamma terhadap berat total biji kacang hijau. Pada grafik tersebut dapat diketahui bahwa rata-rata berat total biji kontrol sebesar 12,42 gram dan pada penelitian ini dengan menggunakan energi radiasi yang bervariasi maka berat total biji kacang hijau juga bervariasi. Pada pemberian energi iradiasi

100- 300 Gy didapat nilai menurun dari 9,78 gram ke 4,5 gram. Hasil dari jumlah biji kacang hijau pada tabel 4.6 mempengaruhi rata-rata berat total biji kacang hijau. Sehingga semakin banyak jumlah biji kacang hijau yang dihasilkan maka berat total biji kacang hijau akan semakin besar.

Berdasarkan grafik diatas menunjukkan efek dari energi radiasi sinar gamma yang mampu menurunkan berat total biji kacang hijau. Pada pemberian energi radiasi sinar gamma yang tinggi menyebabkan menurunnya berat total biji kacang hijau. Hal ini terjadi karena pengaruh genetik masih lebih besar dibandingkan radiasi yang belum terlihat pengaruhnya, dimana seharusnya radiasi dapat mempengaruhi karakter tanaman dan merubah susunan genetik tanaman serta meningkatkan keragaman tanaman dengan lebih cepat tetapi pengaruh radiasi masih belum berpengaruh terhadap berat total biji. Hasil penelitian ini sesuai dengan pernyataan Aisyah (2006), yang menyatakan bahwa penurunan berat buah tanaman terjadi karena radiasi dapat menyebabkan rusaknya kromosom tanaman, sehingga mengakibatkan terganggunya tanaman tersebut.

#### **4.1.3 Data Hasil Pengukuran Kadar Protein Kacang Hijau**

Pada hasil pengukuran kadar protein kacang hijau hasil panen dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 540 nm dengan menggunakan metode biuret. Sesuai dengan langkah perhitungan data pada metodologi, didapat hasil seperti pada tabel 4.8 yang merupakan data kadar protein kacang hijau. Untuk perhitungan kadar protein secara matematis dapat menggunakan persamaan 4.2.

$$\text{Kadar Protein \%} = \frac{\text{Konsentrasi Protein}}{\text{Konsentrasi Sampel}} \times fp \times 100\% \dots\dots\dots (4.2)$$

**Tabel 4.8** Data Kadar Protein Kacang Hijau

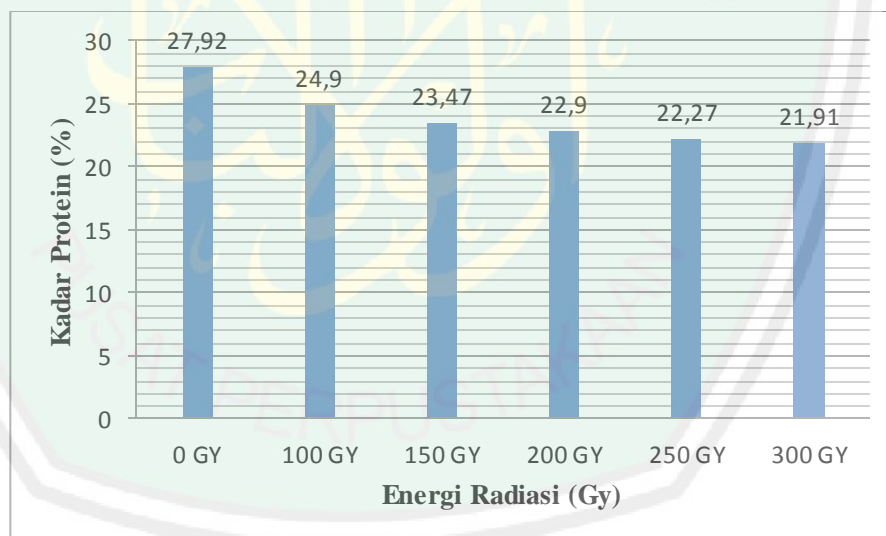
Energi Radiasi (Gy)	Rata-Rata Kadar Protein (%)				Rata-Rata Kadar Protein (%)
	I	II	III	IV	
0 (Kontrol)	27,84	28	27,96	27,90	27,92 a
100	24,8	25,02	24,96	24,85	24,9 b
150	23,56	23,47	23,38	23,47	23,47 c
200	22,8	22,98	22,83	23,03	22,93 d
250	22,18	22,36	22,08	22,46	22,27 e
300	21,84	21,98	21,79	22,03	21,91 f

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom rata-rata kadar protein menunjukkan tidak berbeda nyata dan penyebutan huruf (a,b,c dan d) menunjukkan notasi perbedaan nilai berdasarkan uji DMRT 5%.

Pada hasil pengamatan rata-rata kadar protein kacang hijau diatas menunjukkan bahwa terdapat perbedaan kadar protein kacang hijau hasil panen antara sampel kontrol dan sampel pemberian energi radiasi sinar gamma dengan signifikansi  $\leq 0,05$ . Berdasarkan data tersebut diketahui bahwa kadar protein kacang hijau perlakuan kontrol sebesar 27,92%, sedangkan pada sampel yang diberi perlakuan energi radiasi 100 Gy menghasilkan nilai kadar protein sebesar 24,9%. Pada energi radiasi 150 Gy hasil pengukuran kadar proteinnya adalah 23,47%, ketika energi radiasi 200 Gy kadar protein yang terukur sebesar 22,93%. Kemudian pengukuran kadar protein pada energi 250 Gy yakni mencapai 22,27% dengan merubah energi radiasinya menjadi 300 Gy kadar protein yang terukur adalah 21,91%.

Berdasarkan hasil uji DMRT 5% perlakuan energi radiasi 100 Gy – 250 Gy berpengaruh nyata terhadap perlakuan kontrol (karena terletak di kolom tabel yang lebih dekat dari perlakuan kontrol pada tabel hasil uji DMRT 5%), sedangkan pada energi radiasi 300 Gy hasil rata-rata kadar protein kacang hijau berbeda sangat nyata terhadap kontrol (karena terletak di kolom tabel yang lebih jauh dari perlakuan kontrol pada tabel hasil uji DMRT 5%). Rata-rata kadar protein kacang hijau yang hampir mendekati rata-rata kadar protein sampel kontrol dijumpai pada energi radiasi 100 Gy.

Pada data kadar protein kacang hijau pada tabel 4.8 dapat dilakukan analisis data dengan memplot kadar protein kacang hijau pada sebuah grafik. Gambar 4.7 berikut merupakan grafik hubungan antara energi radiasi dengan berat total biji kacang hijau.



**Gambar 4.7** Grafik Pengaruh Energi Radiasi Terhadap Kadar Protein Kacang Hijau

Berdasarkan data kadar protein kacang hijau pada tabel 4.8 dapat dilakukan analisis data dengan memplot berat total biji tanaman kacang hijau pada sebuah grafik. Pada grafik tersebut dapat diketahui bahwa rata-

rata kadar protein sampel kontrol sebesar 27,92% dan pada penelitian ini dengan menggunakan energi radiasi yang bervariasi maka kadar protein pada kacang hijau hasil panen juga bervariasi. Grafik tersebut menunjukkan bahwa pada pemberian dosis iradiasi 100-300 Gy didapat nilai menurun dari 24,9% ke 21,91%.

Pada grafik tersebut menunjukkan efek dari energi radiasi sinar gamma yang mampu menurunkan kadar protein kacang hijau hasil panen. Pengamatan kadar protein kacang hijau ini mengalami penurunan seiring dengan peningkatan energi radiasi hal tersebut disebabkan oleh radikal bebas yang terbentuk selama proses iradiasi karena tingginya kadar air benih kacang hijau. Radikal bebas ini yang dapat merusak atau memodifikasi komponen sel tumbuhan sehingga memengaruhi proses kimia dan biologi yang mungkin sangat vital bagi kelangsungan hidup organisme (Marcu *et al.*, 2013). Paparan radiasi ionisasi yang mengenai sistem biologis mengaktifkan sejumlah reaksi kimia dan fisika dimulai dari absorpsi awal energi sampai akhirnya terjadi kerusakan biologis (Esnault *et al.*, 2010).

#### 4.2 Pembahasan

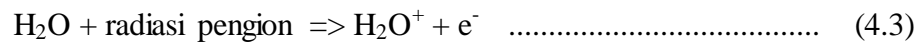
Pemberian energi radiasi sinar gamma pada benih kacang hijau menunjukkan efek negatif pada respon morfologi dan kadar protein kacang hijau. Pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan dipengaruhi oleh efek intrinsik dan ekstrinsik tumbuhan. Rahmawati (2009) menjelaskan bahwa faktor intrinsik antara lain faktor genetik dan hormon. Gen berfungsi mengatur sintesis enzim untuk mengendalikan proses kimia dalam sel. Sedangkan, hormon merupakan senyawa

organik tumbuhan yang mampu menimbulkan respon fisiologi pada tumbuhan. Faktor ekstrinsik berupa faktor lingkungan yang terdiri dari ketinggian tempat, pH tanah, intensitas cahaya, temperatur, kelembaban, curah hujan, tekstur tanah dan lain-lain. Berdasarkan hasil penelitian energi radiasi yang tinggi menyebabkan energi yang dikeluarkan lebih banyak sehingga kerusakan pada suatu benih atau bahan yang diradiasi akan semakin besar. Semakin tinggi energi radiasi maka semakin besar pula kerusakan fisiologis dan akan menimbulkan kematian sel.

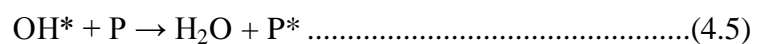
Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi tingkat radiosensitivitas suatu tanaman dan kadar protein terhadap radiasi sinar gamma. Secara fisik bentuk morfologi tanaman dan kadar protein dapat mempengaruhi ketahanan fisik sel saat menerima radiasi sinar gamma. Hal ini juga berhubungan dengan kadar air yang dimiliki oleh suatu benih saat radiasi diberikan. Kadar air dalam sel yang menerima radiasi sinar gamma akan menghasilkan radikal bebas yang berbenturan ke berbagai arah, yang akibatnya akan membuat perubahan atau mutasi baik tingkat DNA, tingkat sel, maupun jaringan, bahkan sampai mengakibatkan kematian pada tanaman (Van Harten, 1998).

Benih kacang hijau mengandung kadar air sebanyak 10%. 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. Energi yang sangat aktif dan labil mampu merusak setiap molekul yang ditemuinya, sehingga dapat mengganggu mekanisme biologi dalam sel (Herison *et al.*, 2008). Jika benih kacang hijau diradiasi maka proses yang terjadi ialah sel benih yang mengandung air akan menyerap energi radiasi. Energi yang dimiliki sinar gamma cobalt-60 sebesar 1,33 MeV. Proses penyerapan energi

radiasi berlangsung sangat singkat ( $10^{-16}$  detik). Ionisasi molekul air adalah sebagai berikut:



Air yang terdapat pada benih akan terurai menjadi ion positif  $\text{H}_2\text{O}^+$  dan  $\text{e}^-$  yang bermuatan negatif. Ion-ion yang terbentuk tersebut bersifat reaktif dan akan menyerang molekul air lainnya dan akan terjadi ionisasi sekunder, tersier dan seterusnya. Ionisasi tersebut yang menjadi awal dari kerusakan yang disebut dengan inisiasi. Penyerapan energi radiasi oleh molekul air dalam proses radiolisis air akan menghasilkan radikal bebas ( $\text{H}^+$  dan  $\text{H}^-$ ). Radikal bebas yang merupakan suatu atom atau molekul yang bebas, tidak bermuatan dan mempunyai sebuah elektron yang tidak berpasangan pada orbit terluarnya. Keadaan ini menyebabkan radikal bebas menjadi tidak stabil dan sangat reaktif. Sesama radikal bebas yang terbentuk dapat saling bereaksi menghasilkan molekul hidrogen peroksida. Radikal bebas dan peroksida tersebut akan menyerang molekul organik sel, inti sel, dan kromosom. Penyerangan tersebut mengakibatkan kerusakan sel dan kematian sel yang menyebabkan pembelahan sel terhambat atau tertunda. Kadar protein dapat berkurang karena adanya radikal bebas hal ini didukung oleh Magfiro (2017) yang menjelaskan interaksi radikal bebas dengan protein, berikut interaksi radikal bebas dengan protein:



Sinar radiasi gamma dapat memutus ikatan kimia atau depolimerisasi polisakarida pada protein. Pemutusan ikatan hidrogen dapat mengubah konformasi biomolekul dan mempengaruhi aktivitas biologisnya sehingga bisa

menyebabkan pembelahan sel yang terhambat (Apoptosis). Apoptosis berawal dari kondisi stress sebagaimana kerusakan DNA yang disebabkan radiasi sinar gamma. Radiasi pengion secara intraseluler memberikan sinyal kematian sel. Sehingga sintesis protein menjadi terhambat dan terjadi penurunan kadar protein akibat dari denaturasi protein dan dekomposisi hidrolisis pada protein.

Radiasi sinar gamma akan mengakibatkan kerusakan sel, tingginya kerusakan sel akan mengakibatkan rendahnya peluang hidup suatu benih. Kerusakan sel ini akan mempengaruhi fungsi jaringan atau organ bila jumlah sel yang rusak atau mati cukup banyak. Perubahan fungsi jaringan/organ yang semakin parah disebabkan karena semakin banyak sel yang rusak/mati, sehingga akan mengakibatkan jaringan/organ tersebut akan kehilangan kemampuannya untuk menjalankan fungsinya dengan baik.

Penyerapan energi dari radiasi ke dalam bahan biologi juga dapat menyebabkan eksitasi dan ionisasi. Eksitasi merupakan munculnya satu elektron dalam suatu atom atau molekul pada tingkat energi yang lebih tinggi tanpa pengusiran elektron. Jika radiasi memiliki energi untuk mengusir satu atau lebih elektron orbital dari atom atau molekul disebut ionisasi dan radiasi tersebut disebut radiasisi ionisasi (pengion) dimana karakteristiknya yang penting adalah pelepasan secara lokal sejumlah besar energi. Efek biologi radiasi menghasilkan kerusakan pada sel yang secara lebih mendetail berupa kerusakan DNA yang merupakan sasaran utama pajanan radiasi. Ketika suatu bentuk radiasi, baik sinar-X, gamma atau partikel bermuatan maupun tidak bermuatan mengenai atau berada dalam suatu jaringan tubuh organisme, maka ada kemungkinan akan berinteraksi langsung dengan sel atau sub seluler dengan sasaran kritis dalam sel seperti intisel

yang mengandung kromosom. Atom dalam sasaran dapat tereksitasi atau terionisasi dan akan memulai serangkaian kejadian yang akan mengarah ke perubahan biologi. Radiasi juga dapat berinteraksi dengan atom atau molekul lain dalam sel untuk menghasilkan radikal bebas yang dapat berdifusi lebih jauh untuk mencapai dan melukai sasaran kritik dalam sel (Hall, 1994).

Penurunan respon morfologi tanaman seiring dengan meningkatnya energi radiasi diduga berkaitan dengan gangguan fisiologis tanaman. Kerusakan fisiologi merupakan efek langsung yang dapat diamati akibat dari radiasi pengion. Kerusakan tersebut berupa terhambatnya pembelahan sel, induksi pada aktifitas mitosis, pengaruh pertumbuhan rata-rata hingga kematian sel. Pada penelitian dapat diketahui bahwa perubahan fisiologi pada fase pertumbuhan tanaman kacang hijau dapat dipengaruhi oleh radiasi sinar gamma. Dibuktikan pada hasil data bahwa meningkatnya energi radiasi mengakibatkan respon morfologi tanaman semakin menurun.

Radiasi sinar gamma menyebabkan perubahan morfologi tanaman kacang hijau, dimana perubahan ini diakibatkan oleh perubahan struktur kromosom yaitu terjadi pematahan kromosom. Pada energi radiasi yang rendah dapat mengakibatkan delesi dan semakin tinggi energi radiasi akan menimbulkan duplikasi, inversi serta translokasi pada kromosom (Mubarok, 2018). Energi dosis yang tinggi juga dapat menyebabkan pembelahan sel menjadi terhambat, sehingga sel tersebut mati dan pertumbuhan morfologi tanaman menjadi menurun. Energi radiasi sinar gamma yang digunakan sangat mempengaruhi proses terjadinya pertumbuhan dan perkembangan sel dalam tanaman serta mempengaruhi produktivitas pada saat panen. Syukur (2000), menyatakan bahwa pemuliaan

dengan mutasi memiliki kekurangan diantaranya sifat yang diperoleh tidak dapat diprediksi dan ketidakstabilan sifat-sifat genetik yang muncul pada generasi berikutnya.

Pemberian energi radiasi sinar gamma yang mengakibatkan mutasi pada benih menyebabkan tanaman mengalami perubahan pada materi genetik. Perubahan pada materi genetik jelas akan menyebabkan perbedaan genetik yang mengakibatkan setiap tanaman memiliki ciri dan sifat khusus yang berbeda satu sama lain walaupun berasal dari jenis yang sama, sehingga menunjukkan keragaman penampilan sebagai respon terhadap pengaruh lingkungan. Hal ini sesuai dengan pernyataan Sitompul dan Guritno (1995), yaitu perbedaan susunan genetik merupakan salah satu faktor penyebab keragaman penampilan tanaman. Keragaman penampilan suatu tanaman akibat perbedaan susunan genetik selalu mungkin terjadi sekalipun bahan taaman yang digunakan berasal dari jenis yang sama. Diduga dengan semakin meningkatnya energi radiasi sinar gamma yang berarti menunjukkan lamanya waktu radiasi semakin besar, ketika tingkat kerusakannya semakin besar maka semakin besar energi radiasinya. Sehingga, perlu dipelajari berapa energi radiasi sinar gamma yang tepat untuk menyebabkan terjadi perubahan genetik namun yang tidak menyebabkan kerusakan akibat perubahan gen yang parah.

Pada pengamatan kadar protein kacang hijau hasil panen menunjukkan bahwa perlakuan energi radiasi tidak meningkatkan keragaman dimana diperoleh kadar protein tertinggi pada perlakuan kontrol dibanding dengan tanaman yang diradiasi. Hal ini bertolak belakang dengan teori yang menyatakan bahwa radiasi dapat meningkatkan keragaman. Hal ini dapat terjadi karena mutasi bersifat acak

sehingga hasilnya tidak dapat diprediksi. Menurut Handayani (2006), berbagai faktor dapat mempengaruhi keberhasilan penggunaan radiasi pada tanaman, antara lain genotipe, bagian tanaman yang digunakan, stadia perkembangan sel tanaman, jumlah kromosom, umur jaringan, oksigen, temperatur, energi radiasi dan ada kemungkinan beberapa pengaruh faktor lain seperti ketahanan atau kekebalan tanaman itu sendiri terhadap pemberian sinar gamma sehingga radiasi tidak dapat merusak gen pengendali produksi protein pada kacang hijau.

Protein merupakan molekul yang sangat besar, sehingga mudah sekali mengalami perubahan bentuk fisik maupun aktivitas biologis. Terdapat banyak faktor yang menyebabkan perubahan sifat alamiah protein salah satunya sinar radiasi radioaktif. Perubahan intensitas (konsentrasi) protein dapat disebabkan oleh iradiasi sinar gamma, baik pada struktur maupun ikatan proteinnya. Perubahan struktur dapat diakibatkan oleh denaturasi maupun degradasi protein. Hal ini terjadi karena adanya perubahan yang diakibatkan oleh iradiasi gamma, baik pada struktur maupun ikatan proteinnya. Perubahan struktur dapat diakibatkan oleh denaturasi protein, degradasi protein maupun perubahan DNA.

Penyinaran radiasi sinar gamma Co-60 pada biji kacang hijau memberi efek negatif pada penelitian ini. Hal ini terlihat pada hasil uji DMRT 5% bahwa energi radiasi sinar gamma mempengaruhi respon morfologi tanaman dan kadar protein hasil panen pada tanaman kacang hijau. Namun pemberian energi radiasi sinar gamma tidak menunjukkan perbedaan yang nyata dengan tanaman kacang hijau tanpa radiasi. Perlakuan radiasi umumnya baru dapat memunculkan efek mutasi pada generasi kedua (M2), sedangkan tanaman hasil penelitian masih merupakan generasi pertama (M1) yang belum menampakkan gejala terjadinya gejala mutan,

sehingga masih belum dapat memberikan efek positif pada respon morfologi tanaman dan kadar protein hasil panen. Hal ini seperti yang diungkapkan oleh Soedjono (2003) yang menyatakan bahwa seringkali penampakan akibat mutasi radiasi baru akan muncul setelah generasi selanjutnya (M2). Menurut Halloran (1979), juga menyatakan bahwa turunan pertama (M1) dari benih teradiasi tidak menunjukkan perbedaan dengan tanaman kontrolnya, karena perubahan baru teramati pada turunan kedua (M2) atau keturunan ketiga (M3).

Pengaruh mutagen pada generasi M<sub>1</sub> dari benih yang diberi perlakuan adalah perubahan yang terjadi disebabkan oleh kerusakan kromosom (perubahan genetik) atau diluar kromosom (kerusakan fisiologi). Gaul (1977) menyatakan pemisahan penyebab kerusakan kromosom atau kerusakan di luar kromosom sulit dilakukan, karena keduanya akan sama-sama terjadi sebagai akibat perlakuan dengan mutagen yang akan mengganggu pertumbuhan tanaman. Besarnya kerusakan ini tergantung pada pengaturan dan besarnya energi yang digunakan dan akan meningkat sampai batas tertentu. Perlakuan dengan mutagen yang terbaik ialah yang mampu menghasilkan perubahan genetik yang banyak dengan kerusakan fisiologis yang sedikit.

#### **4.3 Kajian Hasil Penelitian dalam Perspektif Islam**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh paparan radiasi sinar gamma terhadap respon morfologi dan kadar protein kacang hijau. Radiasi merupakan suatu emisi (pancaran) dan perambatan energi melalui materi atau ruang dalam bentuk gelombang elektromagnetik atau partikel, yang akhirnya diserap oleh benda lain. Radiasi terjadi karena suatu pancaran energi yang berasal

dari proses perubahan atom atau inti atom yang tidak stabil. Atom yang memancarkan sinar gamma tidak mengalami perubahan nomor massa ataupun nomor atom, hanya atomnya saja yang berada dalam keadaan tereksitasi kembali ke keadaan dasar. Berbicara mengenai atom atau partikel, mengingatkan kita pada firman Allah SWT dalam Al-Qur'an surah as-Saba' ayat 22 yang berbunyi:

قُلْ ادْعُوا الَّذِينَ رَعِمْتُمْ مِنْ دُونِ اللَّهِ ۚ لَا يَمْلِكُونَ مِنْ قَدْرٍ فَبِالسَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَالْمَالِ هُمْ  
فِيهِمَا مِنْ شَرِكٍ وَمَا لَهُ مِنْهُمْ مِنْ ظَهِيرٍ (٢٢)

*“Katakanlah (Muhammad), “Serulah mereka yang kamu anggap (sebagai tuhan) selain Allah! Mereka tidak memiliki (kekuasaan) seberat zarah pun di langit dan di bumi, dan mereka sama sekali tidak mempunyai peran serta dalam (penciptaan) langit dan bumi dan tidak ada di antara mereka yang menjadi pembantu bagi-Nya.”*

Pada ayat tersebut Allah SWT menegaskan bahwa Dialah Tuhan yang Maha Esa tiada bersekutu dan tiada berkawan, tiada beranak dan tiada diperanakan dan bahwa tuhan-tuhan yang disembah selain Allah adalah tuhan-tuhan yang tidak memiliki kekuasaan seberat Zarah pun di langit maupun di bumi, juga tidak mempunyai saham sebagai pembantu dalam penciptaan langit dan bumi dan sekali-kali tidak ada diantara yang dianggap tuhan-tuhan itu menjadi pembantu kawan sebagai Allah Yang Maha Esa (Departemen Agama RI, 2000).

Pada QS. As-Saba' ayat 22 ini menjelaskan tentang *dzarrah* yang berarti sesuatu yang sangat kecil. Pada kamus fisika menyatakan bahwa *dzarrah* dalam ilmu fisika adalah istilah untuk menunjuk materi yang halus, berupa partikel. Sedangkan pada fisika nuklir, *dzarrah* digunakan untuk menunjukkan pengertian bidang atomer, misalnya struktur *dzarrah* yang diakibatkan oleh gerak spin elektron-partikel. Ayat diatas dijelaskan bahwa *dzarrah* memiliki berat. Hal ini para ilmuwan telah membuktikan bahwa atom memiliki berat dan dapat

menentukan berat proton, neutron dan elektron (proton  $1,67 \times 10^{-27}$  Kg, neutron  $1,675 \times 10^{-27}$  Kg dan elektron  $9,109 \times 10^{-31}$  Kg).

Badan Tenaga Nuklir Nasional telah mengembangkan pemuliaan tanaman melalui mutasi radiasi, yang saat ini telah menciptakan berbagai varietas kacang hijau dengan berbagai keunggulan. Tanaman kacang hijau merupakan tanaman palawija yang bermanfaat bagi manusia. Kacang hijau merupakan tumbuhan yang berbentuk bulat dan berbuku-buku, berukuran kecil, berbulu berwarna hijau kemerahan atau kecoklatan.

Firman Allah dalam Al-Qur'an Surat Ar - Ra'd ayat 4 yang berbunyi:

وَفِي الْأَرْضِ قِطْعٌ مُتَجَوِّرَاتٌ وَجَنَّتْ مِنْ أَعْنَابٍ وَزَّرَعٌ وَنَخِيلٌ صُنُوفٌ وَغَيْرُ صُنُوفٍ  
يُسْقَى بِمَاءٍ وَآ حِدٍ ۖ وَنَفَضْنَا بَعْضَهَا عَلَى بَعْضٍ فِي الْأَكْلِ ۖ إِنْفِذْنَا لِكُلِّ قَوْمٍ مِثْقَالَ ذَرَّةٍ

*"Dan di bumi terdapat bagian-bagian yang berdampingan, kebun-kebun anggur, tanaman-tanaman, pohon kurma yang bercabang, dan yang tidak bercabang; disirami dengan air yang sama, tetapi Kami lebihkan tanaman yang satu dari yang lainnya dalam hal rasanya. Sungguh, pada yang demikian itu terdapat tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi orang-orang yang mengerti."*

Menurut Shihab (2002), dalam kitab Tafsir Al-Misbah yang menjelaskan bahwa ayat tersebut merupakan isyarat keberadaan ilmu tentang tanah (geologi dan geofisika) dan ilmu tentang lingkungan hidup (ekologi) serta pengaruhnya terhadap sifat tumbuh-tumbuhan. Sedangkan pada Tafsir al-Muntakhab, yang menjelaskan bahwa secara ilmiah tanah persawahan terdiri atas butir-butir mineral yang beraneka ragam sumber ukuran dan susunannya; zat organik yang bersumber dari aktivitas tumbuhan dan manusia, udara, air yang bersumber dari hujan dan lainnya.

Ayat di atas menunjukkan tentang adanya tanda-tanda kekuasaan Allah SWT mengenai tumbuh-tumbuhan. Melalui keagungan dan keperkasaan-Nya, semua

jenis tumbuhan makan dan tumbuh dari sinar, hidrogen, karbon, nitrogen, fosfor, sulfur, kalium, kalsium, magnesium dan besi. Meskipun sumber makanan tumbuhan itu sama, tanah telah menumbuhkan apel yang manis, kaktus yang berduri, gandum, jeruk, anggur, kurma dan sebagainya. Pada tanah yang sama, unsur makanan yang sama dan air yang sama, biji-biji yang sangat kecil itu menumbuhkan ribuan jenis tumbuhan dan buah-buahan dengan aneka ragam bentuk, rasa, bau, dan warna.



## **BAB V PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pengaruh energi radiasi sinar gamma terhadap benih kacang hijau dapat mempengaruhi respon morfologi tanaman kacang hijau. Semakin besar energi radiasi yang diberikan mengakibatkan tinggi tanaman semakin pendek, umur berbunga dan umur panen semakin lama, jumlah polong pertanaman dan jumlah biji pertanaman semakin rendah, serta berat total biji yang semakin kecil. Pemberian energi radiasi sinar gamma tidak menunjukkan perbedaan yang nyata dengan tanaman kacang hijau tanpa radiasi. Energi radiasi yang hampir menyerupai respon morfologi tanaman kontrol dijumpai pada energi 100 Gy. Perlakuan radiasi umumnya baru dapat memunculkan efek mutasi pada generasi kedua (M2), sedangkan tanaman hasil penelitian masih merupakan generasi pertama (M1).
2. Radiasi gamma memberikan pengaruh terhadap nilai kadar protein kacang hijau hasil panen. Pemberian energi radiasi sinar gamma yang semakin tinggi menyebabkan kadar protein kacang hijau hasil panen semakin rendah. Energi radiasi yang diberikan tidak menunjukkan perbedaan yang nyata dengan kacang hijau hasil panen pada tanaman kontrol. Kadar protein yang hampir menyerupai perlakuan kontrol dijumpai pada energi 100 Gy. Hal ini terjadi karena adanya perubahan yang diakibatkan oleh iradiasi gamma, baik pada

struktur maupun ikatan proteinnya. Perubahan struktur dapat diakibatkan oleh denaturasi protein, degradasi protein maupun perubahan DNA.

## 5.2 Saran

Setelah dilakukan penelitian ini ada beberapa hal yang perlu diperhatikan sebagai saran untuk penelitian selanjutnya, antara lain:

1. Penelitian dapat dilanjutkan dari hasil generasi pertama (M1) ke generasi mutan selanjutnya agar dapat memberikan efek positif pada pertumbuhan dan produktivitas tanaman.
2. Penelitian dapat dilanjutkan dengan menambah pengujian lain pada respon morfologi tanaman seperti jumlah cabang dan sebagainya.
3. Pada penelitian kadar protein kacang hijau lebih baik jika dilakukan setiap pengulangan sampel.
4. Pengujian kadar protein akan lebih baik jika menggunakan metode lain seperti metode kjeldahl dan lain sebagainya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ainur, Avin. 2011. *Modul Kuliah Fisika Radiasi*. Malang: Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Malang.
- Aisyah, S. I. 2006. *Mutasi Induksi, Sitogenetika Tanaman*. Bogor: IPB Press.
- Aisyah, S. I. 2013. *Sitogenetika Tanaman Edisi Kedua*. Dalam: Syukur M., Sastrosumajo S., (Eds). Bogor: IPB Press.
- Akhadi, Mukhlis. 2000. *Dasar-Dasar Proteksi Radiasi Edisi Ke 1*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Alpen, R. 1990. Radiation Biophysics. *Prentice hall, Biophysics and Bioengineering*, pp: 392.
- Al-Qur'an Terjemahan. 2015. *Departemen Agama RI*. Bandung: CV Darus Sunnah.
- Al-Qurthubi, Syaikh Imam. 2009. *Tafsir Al-Qurthubi*. Jakarta : Pustaka Azzam.
- Amsori. 2009. *Pengaruh Kemiringan Sudut Gantri Pada Dosis Permukaan Fantom Berkas Radiasi Gamma Cobalt-60*. Skripsi. Jurusan Fisika FMIPA Universitas Indonesia.
- Aryanto, M. D. 2008. *Pengembangan Teknologi Nuklir Untuk Meningkatkan Hasil Panen*. Makalah. Jurusan Fisika FMIPA. Semarang: Universitas Sebelas Maret.
- Asadi. 2011. *Pemanfaatan Sinar Radiasi dalam Pemuliaaan Tanaman*. Balai Besae Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi dan Sumberdaya Genetik Pertanian. Volume 33 (1). Bogor.
- Badan Pusat Statistik. 2017. *Produksi Kacang Hijau Menurut Provinsi 2013-2017*. Online: [www.bps.go.id](http://www.bps.go.id) diakses pada tanggal 18 Januari 2020.
- Balitkabi. 2014. *Deskripsi Kacang Hijau*. [www.balitkabi.litbang.pertanian.go.id](http://www.balitkabi.litbang.pertanian.go.id), Diakses pada tanggal 15 Juni 2020.
- Biogen. 2011. *Pemanfaatan Sinar Radiasi Gamma dalam Pemuliaan Tanaman*. *Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi dan Sumberdaya Genetik Pertanian*, 33(11).
- Cahyono, B. 2007. *Pisang: Budidaya dan Analisis Usaha Tani*. Yogyakarta: Kanisius.

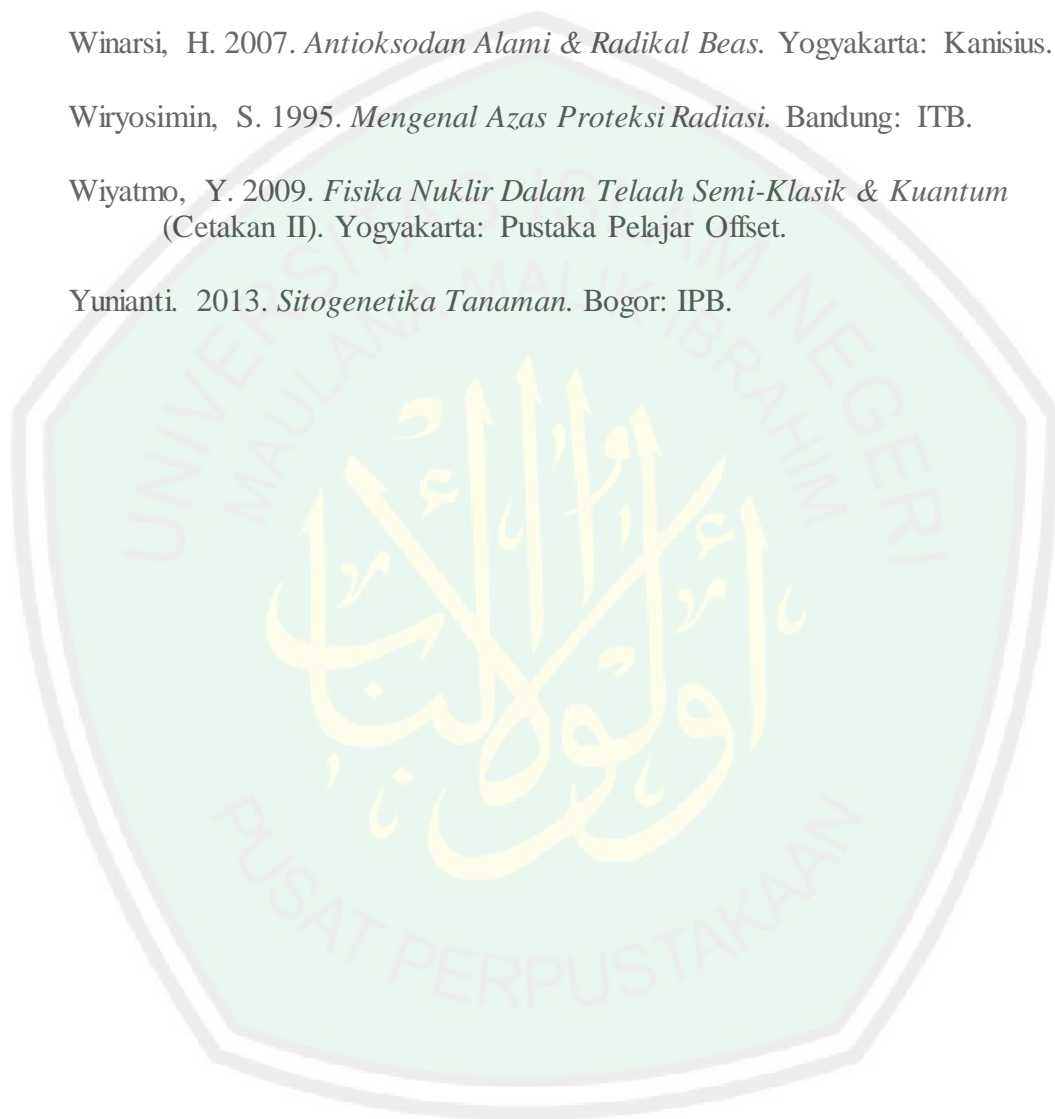
- Chervený. 2013. Pengaruh Pemberian Buah Manggis, Buah Sirsak dan Kunyit Terhadap Kandungan Radikal Bebas Pada Daging Sapi Yang Diradiasi Dengan Sinar Gamma. *Jurnal Natural UB*. Vol. 5 No.1.
- Crowder, L. V. 1986. *Genetika Tumbuhan, Edisi Indonesia*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Departemen Agama Republik Indonesia. 2000. *Asbabun Nuzul*. Bandung: CV Diponegoro.
- Dewi, S. 2011. *Prinsip-Prinsip Radiologi*. <http://www.unhas.ac.id>, Diakses pada tanggal 18 Juli 2019.
- Diehl, J.F. 1995. *Safety of Irradiated Foods*. Marcel Dekker. New York.
- El-Rahman, M. A. Abd., et al. 2016. *Effect of Gamma Irradiation of Seeds on Growth and Yield of Mungbean (Vigna Radiata) In Egypt*. *Journal of Basic and Environmental Sciences* 3: 148-155.
- Esnault, M. A. Legue, f. Chenal, C. 2010. *Ionizing Radiation: Advances in Plant Response*. *Environmental, Experimental Botany*. 68(3): 231-237.
- Fauza, H. 2007. *Variabilitas Genetik Tanaman Gambir Berdasarkan Marka RAPD*. Padang: Universitas Andalas.
- Fatchiyah, Arumingtyas, E.L., Widyarti, S., dan Rahayu, S. 2011. *Biologi Molekular: Prinsip Dasar Analisis*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Forster BP, Shu QY. 2012. Plant Mutagenesis in Crop Improvement: Basic Terms and Applications. Di dalam: Shu QY, Forster BP, Nakagawa H, editor. *Plant Mutation Breeding and Biotechnology*. London (GB): CAB International and FAO.
- Gaul. 1977. *Present Aspect or Induce Mutation dalam Manual Mutation Breeding Emphytica*. Hal: 275-278.
- Gautreau, R dan Savin. 1999. *Schaum's Outlines Fisika Modern Edisi Kedua*. Jakarta: Erlangga.
- Haidar, I. Ahsan, M. Ali, Q. Sajjad, M. Uzair, M. Rabia, Kalsum dan Saifulmalook. 2016. *Use of Radiations to Study Useful Mutations in Zea Mays for Grain Yield: A Riview*. *Nature and Science*. 14(5): 66-75.
- Hall, E.J. 1994. *Radiology For The Radiobiologist, Lippincott Williams and Walkin*. Philadelphia.
- Halloran, G. M., Knight, R., Mc Whirter KS., and Sparrow, DHB., 1979. Dalam Taryono, Supriyanti, Budiastuti Kurniasih, Joko Purnomo, dan Abdullah

- Taufiq. 2003. *Perakitan Varietas Unggul Kacang Tanah Toleran Kahat Fe Melalui Seleksi Kultur Embrio: II. Perbanyak Benih dan Seleks.* Karya Ilmiah Hasil Penelitian. Lembaga Penelitian UGM. Yogyakarta.
- Hanafiah, D.S., Trikoesoemaningtyas, S. Yahya, dan D. Wirnas. 2010. *Induceed Mutations By Gamma Ray Irradiation To Argomulyo Soybean (Glycine max) Variety.* Nusantara Bioscience, Indonesia.
- Handayani, W. 2006 *Keragaman Genetik Mawar Mini Dengan Irradiasi Sinar Gamma.* Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian 28 (4): 17-18.
- Harsanti, Lilik dan Yulidar. 2016. *Pengaruh Radiasi Sinar Gamma Yang Berasal Dari Sumber <sup>60</sup>CO Terhadap Pembentukan Tanaman Kedelai Tahan Naungan Pada Generasi M1.* Puslitbang Teknologi Isotop dan Radiasi. Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi. 103 - 109.
- Hegazi AZ, Hamideldin N. 2010. *The Effect of Gamma Radiation on Enhancement of Growth And Seed Yield of Okra (Abelmoschus esculentus (L.) Monech) and Assosiated Moleculer Changes.* Journal Horticultrual Forestry. 2(3) : 038-051.
- Herison, C., S. H. Rustikawati, dan I. A. Syarifah. 2008. *Induksi Mutasi Melalui Sinar Gamma Terhadap Benih Untuk Meningkatkan Keragaman Populasi Dasar Jagung (Zea Mays L.).* Akta Agrosia 11(1): 57-62.
- Khan, M. H. dan S. D. Tyagi. 2013. *A Riview On Induced Mutagenesis In Soybean.* Journal of Cereals and Oilseeds. Diakses dari <http://www.academicjournals.org/JCO4> (2) : 19-25, 12 September 2020.
- Kovacs E, and Keresztes A. 2002. *Effect Gamma and UV-B/C radiation on plant cell.* MICRON, 33:199-210.
- Madurita, 2004. *Evaluasi Ketahanan 20 Genotip Kacang Hijau (Vigna Radiata (L.) Wilezek) Terhadap Penyakit Bercak Daun.* Skripsi Jurusan Budidaya Pertanian Program Studi Pemuliaan Tanaman Tidak Dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya Malang.
- Magfiroh, Laila. 2017. *Pengaruh pemberian air rendaman buah tin (ficus carica), buah belimbing wuluh (averhoa blimbi L.) Terhadap radikal bebas dan kandungan peotein pada daging sapi yang terpapar radiasi gamma.* Malang: Universitas Islam Negeri Malang.
- Makhzhiah., et al. 2017. *Pengaruh Radiasi Sinar Gamma Cobalt-60 Terhadap Sifat Morfologi dan Agronomi Ketiga Varietas Jagung (Zea mays L.).* Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia Vol. 22(1): 41-45.
- Marcu, D. Damian, G. Cosma, C. dan Cristea, V. 2013. *Gamma Radiation Effects On Seed Germination, Growth And Pigmen Content, and ESR Study of*

- Induced Free Radicals in Maize (Zea Mays)*. Journal Biology and Physics. 39(4): 625-634.
- Marwiyah, S. H. Punamawati, P. I. dan Sembiring. 2017. *Induksi Mutasai Fisik Dengan Iradiasi Sinar Gamma Pada Kacang Merah*. Comm. Hort. J. 1(1): 49-55.
- Mostavan, Aman. 1999. *Fisika Inti*. Bandung: ITB.
- Muafifah, 2006. Karakteristik Morfologi dan Anatomi Beberapa Genotip dan Hubungannya dengan Hasil Kacang Hijau (*Vigna Radiata* (L.) Wilezek). Skripsi Jurusan Biologi Tidak dipublikasikan. Malang: UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Mubarok, Muhammad Anas. 2018. *Pengaruh Radiasi Sinar Gamma Co-60 Terhadap Pertumbuhan Cabai Rawit (Capsicum Frutescens L.)*. Skripsi. Malang: Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Malang.
- Muchtadi, D. 2010. *Teknik Evaluasi Nilai Gizi Protein*. Bandung: Alfabeta.
- Poedjadi, A. 2006. *Dasar-Dasar Biokimia*. Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- Purwono, MS dan Rudi Hartono. 2012. *Kacang Hijau*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Putra, Hidayatul Hana. 2018. *Pengaruh Radiasi Gamma terhadap Kadar Protein, Lemak dan Radikal Bebas Daging Ikan Tenggiri*. Skripsi. Malang: Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Malang.
- Rahmawati, I. 2009. *Tanggapan Pertumbuhan Sansevieria spp Terhadap Logam Timbal (Pb) dari Asap Kendaraan Bermotor 2 Tak*. Yogyakarta:UGM.
- Retnaningsih, C.H. 2008. *Potensi Fraksi Aktif Antioksidan, Anti Kolesterol Kacang Koro (Mucuma pruriens) dalam Pecegahan Aterosklerosis*. Laporan Penelitian Hibah Jtech. 4(2): 131 – 137.
- Rici. 2009. *Pengaruh Radiasi Sinar Gamma Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Beberapa Varietas Kedelai (Glycine max L. Merril) Pada Generasi Pertama*. Skripsi. Medan.
- Ritonga, A. W. dan A. Wulansari. 2010. *Pengaruh Induksi Mutasi Radiasi Sinar Gamma Pada Tanaman*. Program Studi Pemuliaan dan Bioteknologi Tanaman IPB. Bogor. Jurnal Penelitian.
- Royani, JL. 2012. *Pengaruh Iradiasi Sinar Gamma 60Co Terhadap Perubahan Karakter Morfologi, Molekular, Senyawa Aktif Tanaman Sambiloto (Andrographis Paniculata)* [Skripsi]. Bogor : Institut Pertanian Bogor.

- Rukmana, Rahmat. 1997. *Kacang Hijau, Budi Daya & Pascapanen*. Yogyakarta: Kansinus.
- Rukmana, Rahmat. 2002. *Budidaya Kacang-Kacangan*. Yogyakarta: Kansinus.
- Shihab, M. Quraish. 2002. *Tafsir Al-Mishbah: Pesan, Kesan, dan Keserasian Al-Qur'an*. Jakarta: Lentera Hati.
- Sitompul, S. M. dan B. Guritno. 1995. *Analisis Pertumbuhan Tanaman*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Soedjono, S. 2003. *Aplikasi Mutasi Induksi dan Variasi Somaklonal dalam Pemuliaan Tanaman*. Jurnal Litbang Pertanian. 22(2) : 70-78.
- Soeranto, H. 2003. *Peran Iptek Nuklir dalam Pemuliaan Tanaman Untuk Mendukung Industri Pertanian*. Puslitbang Teknologi Isotop dan Radiasi. Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi. 2(2) : 308-316.
- Somaatmadja, S. 1993. *Proses Sumber Daya Nabati Asia Tenggara 1. Kacang-kacangan*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Subandiyono, dan Sri Hastuti. 2016. *Buku Ajar Nutrisi Ikan*. Semarang: Lembaga Pengembangan Dan Penjaminan Mutu Pendidikan.
- Sukaya, dan Sri Hartati. 2005. *Peningkatan Ragam Genetik Cabai Rawit (Capsicum frutescens L.) Melalui Irradiasi Sinar Gamma Co-60*. Surakarta: Fakultas Pertanian UNS.
- Syukur, S. 2000. *Efek Iradiasi Gamma Pada Pembentukan Variasi Klon dari Catharantus roseus [L.] Don*. Risalah Pertemuan Ilmiah Penelitian dan Pengembangan Teknologi Isotop dan Radiasi. Biochemistry Biotechnology Lab. Andalas. Padang: University Padang.
- Tjitrosoepomo, G. 1984. *Botani Umum 2*. Jakarta: Angkasa.
- Tjitrosoepomo, G. 1996. *Taksonomi Tumbuhan (Spermatophyta)*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Van Harten, A.M. 1998. *Mutation Breeding Theory And Partical Application*. New York: Cambridge University Press. P. 342.
- Wardhana, Wisnu Arya. 2007. *Teknologi Nuklir: Proteksi Radiasi dan Aplikasinya*. Yogyakarta: Kanisius.
- Warianto, C. 2011. *Mutasi*. [http://skp.unair.ac.id/repository/Guru-Indonesia/Mutasi\\_ChaidarWarianto\\_17.pdf](http://skp.unair.ac.id/repository/Guru-Indonesia/Mutasi_ChaidarWarianto_17.pdf). [18 November 2019].

- Widayati, E. 2012. *Oxidasi Biologi, Radikal Bebas, dan Antioxidant*. Majalah Ilmiah Sultan Agung. 50:26-3.
- Winarno, FG. 2002. *Kimia Pangan dan Gizi*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Winarno, FG. 2004. *Kimia Pangan dan Gizi Cetakan Kesebelas*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Winarsi, H. 2007. *Antioksidan Alami & Radikal Beas*. Yogyakarta: Kanisius.
- Wiryoimin, S. 1995. *Mengenal Azas Proteksi Radiasi*. Bandung: ITB.
- Wiyatmo, Y. 2009. *Fisika Nuklir Dalam Telaah Semi-Klasik & Kuantum (Cetakan II)*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar Offset.
- Yunianti. 2013. *Sitogenetika Tanaman*. Bogor: IPB.



**LAMPIRAN 1** Perhitungan Waktu Penyinaran Radiasi Gamma

1. Waktu Radiasi (100 Gy)

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{Energi Radiasi}}{\text{Laju Energi}} \\ &= \frac{100}{1,55} \\ &= 64,5 \end{aligned}$$

2. Waktu Radiasi (150 Gy)

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{Energi Radiasi}}{\text{Laju Energi}} \\ &= \frac{150}{1,55} \\ &= 96,7 \end{aligned}$$

3. Waktu Radiasi (200 Gy)

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{Energi Radiasi}}{\text{Laju Energi}} \\ &= \frac{200}{1,55} \\ &= 129,03 \end{aligned}$$

4. Waktu Radiasi (250 Gy)

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{Energi Radiasi}}{\text{Laju Energi}} \\ &= \frac{250}{1,55} \\ &= 161,3 \end{aligned}$$

5. Waktu Radiasi (300 Gy)

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{Energi Radiasi}}{\text{Laju Energi}} \\ &= \frac{300}{1,55} \\ &= 193,5 \end{aligned}$$

## LAMPIRAN 2 Data Hasil Penelitian

## A. Data Parameter Tinggi Tanaman (cm)

Tabel 1. Data Parameter Tinggi Tanaman Ulangan Pertama (cm)

Tanaman	0 gy	100 gy	150 gy	200 gy	250 gy	300 gy
1	49	46	50	42	44	42
2	48,5	44	45	48	46	43
3	49	46	44,5	49	46	43
4	50	45	43	47	42	44
5	52	48,5	44	45	43	44
6	47,5	46	45	44	45	40
7	48	50,5	45	43,5	37	44
8	51	44	42	44	47,5	45,5
9	49,5	46	44	42	42	37
10	52,5	43,5	46	42	42	32
Rata-rata	49,7	45,95	44,85	44,65	43,45	41,45

Tabel 2. Data Parameter Tinggi Tanaman Ulangan Kedua(cm)

Tanaman	0 gy	100 gy	150 gy	200 gy	250 gy	300 gy
1	50	44	49	46	42	41
2	49	43	44	44	44	40
3	48	44,5	44	45	46	42
4	48,5	46,5	47,5	47	41,5	44
5	48,5	44	45	44	43	42
6	50,5	50	46	42	44	41
7	49	47	43	48	42,5	38
8	51	46	46	47	42	39,5
9	52,5	44	44	46	41	40
10	52	47	45	42	35	43
Rata-rata	49,9	45,6	45,35	45,1	42,1	41,05

Tabel 3. Data Parameter Tinggi Tanaman Ulangan Ketiga(cm)

Tanaman	0 gy	100 gy	150 gy	200 gy	250 gy	300 gy
1	52	44	47	43	40	40
2	49,5	45	50	45	42	42
3	51,5	51	46	47	44	42
4	52,5	46	44	47	43	43
5	48	47,5	36	45	42	41,5
6	49	46	37	46	36	36
7	50	45,5	47	45	37	41
8	49,5	44	43	43,5	42	42
9	48	46	51	42,5	42,5	36,5
10	52	46	40	43	43	39
Rata-rata	50,2	46,1	44,1	44,7	41,15	40,3

Tabel 4. Data Parameter Tinggi Tanaman Ulangan Keempat(cm)

Tanaman	0 gy	100 gy	150 gy	200 gy	250 gy	300 gy
1	51,5	46	46,5	43	40	38
2	49	45	43,5	43	42	38,5
3	49,5	45	44	42,5	43,5	40
4	49	46	46,5	44	43	40
5	50	47	44	44,5	42	42
6	50	45,5	43,5	45	44	44
7	50,5	47,5	44,5	47	42	43
8	48	46	44	47	43	43
9	48,5	48	45,5	46,5	38	42
10	49	50	44	48	40	42
Rata2	49,5	46,6	44,6	45,05	41,75	41,25

**B. Data Parameter Umur Berbunga (hari)**

Tabel 5. Data Parameter Umur Berbunga Ulangan Pertama(hari)

Tanaman	0 gy	100 gy	150 gy	200 gy	250 gy	300 gy
1	25	26	29	32	32	40
2	25	26	29	32	33	40
3	25	27	28	32	33	39
4	25	27	29	32	33	39
5	26	26	29	33	32	41
6	25	26	29	33	32	40
7	26	26	29	34	34	40
8	25	26	28	33	34	40
9	25	28	30	34	34	40
10	26	26	30	32	33	40
RATA2	25,3	26,4	29	32,7	33	39,9

Tabel 6. Data Parameter Umur Berbunga Ulangan Kedua(hari)

Tanaman	0 gy	100 gy	150 gy	200 gy	250 gy	300 gy
1	25	26	29	32	35	40
2	25	30	29	33	35	40
3	25	28	29	33	33	42
4	27	28	29	33	33	40
5	28	26	28	34	35	40
6	27	26	29	34	35	41
7	27	26	29	33	34	41
8	26	26	30	32	34	43
9	28	26	30	32	33	40
10	27	26	30	32	33	40
RATA2	26,5	26,8	29,2	32,8	34	40,7

Tabel 7. Data Parameter Umur Berbunga Ulangan Ketiga (hari)

Tanaman	0 gy	100 gy	150 gy	200 gy	250 gy	300 gy
1	26	26	30	33	32	41
2	27	26	30	32	32	40
3	27	27	31	32	32	42
4	26	29	30	32	33	42
5	26	26	30	32	34	40
6	26	28	28	33	35	40
7	26	27	28	33	35	42
8	26	27	28	33	35	42
9	26	26	29	33	35	40
10	27	26	29	33	35	40
RATA2	26,3	26,8	29,3	32,6	33,8	40,9

Tabel 8. Data Parameter Umur Berbunga Ulangan Keempat (hari)

Tanaman	0 gy	100 gy	150 gy	200 gy	250 gy	300 gy
1	26	27	30	33	33	42
2	26	27	30	33	34	42
3	26	27	31	32	34	41
4	25	28	29	32	34	40
5	27	26	29	33	34	40
6	25	27	30	33	35	42
7	25	29	30	33	35	41
8	26	29	28	33	33	42
9	26	28	28	33	34	42
10	26	28	29	32	34	42
RATA2	25,8	27,6	29,4	32,7	34	41,4

### C. Data Parameter Umur Panen (hari)

Tabel 9. Data Parameter Umur Panen Ulangan Pertama (hari)

Tanaman	0 gy	100 gy	150 gy	200 gy	250 gy	300 gy
1	60	63	63	68	73	77
2	60	63	64	68	73	77
3	60	63	64	68	73	77
4	61	64	64	68	72	77
5	62	63	63	67	74	76
6	61	63	64	67	74	77
7	60	63	64	69	74	77
8	60	64	65	68	74	77
9	60	64	63	68	73	77
10	60	62	63	68	73	78
RATA2	60,4	63,2	63,7	67,9	73,3	77

Tabel 10. Data Parameter Umur Panen Ulangan Kedua (hari)

Tanaman	0 gy	100 gy	150 gy	200 gy	250 gy	300 gy
1	60	64	64	67	72	77
2	60	64	63	67	72	76
3	60	63	63	67	73	76
4	60	63	63	68	73	76
5	62	63	63	69	73	77
6	62	63	64	68	72	77
7	60	63	64	68	72	77
8	60	62	65	68	74	77
9	60	62	65	68	74	78
10	61	63	64	66	74	78
RATA2	60,5	63	63,8	67,6	72,9	76,9

Tabel 11. Data Parameter Umur Panen Ulangan Ketiga (hari)

Tanaman	0 gy	100 gy	150 gy	200 gy	250 gy	300 gy
1	60	63	64	68	73	78
2	61	63	64	68	73	78
3	61	63	64	67	73	78
4	61	63	64	67	73	77
5	61	64	64	67	73	77
6	61	63	64	68	74	78
7	61	63	64	68	74	78
8	61	64	64	67	74	77
9	60	63	64	67	73	78
10	60	63	65	67	74	78
RATA2	60,7	63,2	64,1	67,4	73,4	77,7

Tabel 12. Data Parameter Umur Panen Ulangan Keempat (hari)

Tanaman	0 gy	100 gy	150 gy	200 gy	250 gy	300 gy
1	61	64	65	67	74	77
2	61	64	65	67	74	77
3	61	63	64	68	74	78
4	60	63	64	68	73	77
5	60	63	64	68	73	77
6	61	63	64	67	73	78
7	61	64	64	68	74	77
8	61	64	65	68	73	78
9	61	64	64	67	74	78
10	60	64	64	67	74	78
RATA2	60,7	63,6	64,3	67,5	73,6	77,5

**D. Data Parameter Jumlah Polong Pertanaman (buah)**

Tabel 13. Data Parameter Jumlah Polong Ulangan Pertama (buah)

Tanaman	0 gy	100 gy	150 gy	200 gy	250 gy	300 gy
1	4	2	4	2	3	2
2	2	2	4	2	3	2
3	4	4	3	4	4	2
4	2	4	2	2	2	2
5	4	3	2	4	3	2
6	4	2	2	2	4	2
7	3	4	3	3	3	2
8	4	3	4	3	3	2
9	3	4	3	4	2	2
10	4	3	3	4	2	2
Rata2	3,4	3,1	3	3	2,9	2

Tabel 14. Data Parameter Jumlah Polong Ulangan Kedua (buah)

Tanaman	0 gy	100 gy	150 gy	200 gy	250 gy	300 gy
1	3	2	2	3	4	2
2	4	2	4	2	4	1
3	4	3	3	4	3	2
4	4	3	2	2	2	2
5	4	4	4	4	3	2
6	4	4	3	4	3	2
7	4	4	2	2	2	2
8	4	3	4	4	4	1
9	4	4	3	3	3	2
10	3	2	3	2	2	2
Rata2	3,8	3,1	3	3	3	1,8

Tabel 15. Data Parameter Jumlah Polong Ulangan Ketiga (buah)

Tanaman	0 gy	100 gy	150 gy	200 gy	250 gy	300 gy
1	4	2	4	4	3	2
2	4	2	2	4	3	2
3	3	4	4	3	3	1
4	2	3	3	3	4	2
5	3	2	2	3	2	1
6	3	4	2	3	2	2
7	4	4	4	2	3	2
8	4	3	3	2	2	2
9	4	3	3	4	3	1
10	3	4	3	3	4	2
Rata2	3,4	3,1	3	3,1	2,9	1,7

Tabel 16. Data Parameter Jumlah Polong Ulangan Keempat (buah)

Tanaman	0 gy	100 gy	150 gy	200 gy	250 gy	300 gy
1	4	2	2	3	3	2
2	3	4	4	4	3	2
3	3	2	3	4	2	2
4	4	4	4	3	3	1
5	4	4	2	2	2	2
6	4	2	4	3	3	2
7	4	4	3	3	3	1
8	3	2	2	2	4	2
9	3	3	2	3	3	2
10	2	3	4	2	4	2
Rata2	3,4	3	3	2,9	3	1,8

## E. Data Parameter Jumlah Biji Pertanaman (buah)

Tabel 17. Data Parameter Jumlah Biji Ulangan Pertama (buah)

Tanaman	0 gy	100 gy	150 gy	200 gy	250 gy	300 gy
1	31	16	22	15	23	7
2	16	15	21	17	17	9
3	32	23	20	22	21	9
4	22	21	12	12	12	10
5	27	18	18	22	16	8
6	32	16	14	13	20	9
7	22	22	16	15	15	8
8	25	14	20	16	18	8
9	15	22	22	19	10	10
10	30	16	14	20	17	6
RATA2	25,2	18,3	17,9	17,1	16,9	8,4

Tabel 18. Data Parameter Jumlah Biji Ulangan Kedua (buah)

Tanaman	0 gy	100 gy	150 gy	200 gy	250 gy	300 gy
1	20	17	17	27	22	9
2	18	15	22	11	14	6
3	22	18	18	15	12	8
4	20	32	19	20	16	6
5	18	13	15	16	20	8
6	21	16	11	16	11	8
7	14	24	17	15	20	6
8	34	14	19	14	12	6
9	33	18	18	9	12	7
10	29	13	21	20	9	8
RATA2	22,9	18	17,7	16,3	14,8	7,2

Tabel 19. Data Parameter Jumlah Biji Ulangan Ketiga (buah)

Tanaman	0 gy	100 gy	150 gy	200 gy	250 gy	300 gy
1	31	17	22	19	11	8
2	34	15	15	18	10	4
3	23	16	12	14	18	10
4	26	18	13	12	15	8
5	14	13	22	19	18	6
6	19	22	12	15	13	8
7	26	23	20	20	17	7
8	14	17	22	13	12	11
9	21	21	23	17	22	8
10	31	18	17	16	13	10
RATA2	23,9	18	17,8	16,3	14,9	8

Tabel 20. Data Parameter Jumlah Biji Ulangan Keempat (buah)

Tanaman	0 gy	100 gy	150 gy	200 gy	250 gy	300 gy
1	29	14	12	16	14	9
2	18	22	22	20	13	10
3	20	14	18	20	10	10
4	31	26	24	16	14	4
5	32	24	14	12	11	8
6	28	17	18	15	16	8
7	26	26	16	14	14	5
8	17	12	12	11	22	9
9	18	13	15	18	12	8
10	12	14	21	22	18	7
RATA2	23,1	18,2	17,2	16,4	14,4	7,8

## F. Data Parameter Berat Total Biji (gram)

Tabel 21. Data Parameter Berat Total Biji Ulangan Pertama (gram)

Tanaman	0 gy	100 gy	150 gy	200 gy	250 gy	300 gy
1	1,48	0,95	1,23	1,02	1,12	0,42
2	0,79	0,87	1,22	1,18	0,98	0,49
3	1,39	1,18	1,18	1,2	1,09	0,5
4	1,37	1,06	0,69	0,69	0,69	0,62
5	1,31	1,06	1,02	1,18	0,96	0,44
6	1,2	0,98	0,72	0,91	1,01	0,52
7	1,3	1,18	0,82	0,72	0,77	0,47
8	1,12	0,6	1,08	0,83	1,2	0,46
9	0,66	1,16	0,94	1,03	0,54	0,62
10	1,47	0,76	0,8	0,84	0,94	0,35
JUMLAH	12,09	9,8	9,7	9,6	9,3	4,89

Tabel 22. Data Parameter Berat Total Biji Ulangan Kedua (gram)

Tanaman	0 gy	100 gy	150 gy	200 gy	250 gy	300 gy
1	1,23	0,79	0,82	1,56	1,38	0,58
2	1,28	0,89	0,99	0,59	0,75	0,39
3	1,36	1,07	0,92	0,79	0,74	0,48
4	1,2	1,34	1,12	1,16	0,83	0,39
5	1,03	0,79	0,86	0,89	1,06	0,49
6	1,31	0,97	0,7	1,02	0,75	0,49
7	0,55	1,38	1,02	0,94	1,12	0,37
8	1,67	0,81	1,02	0,79	0,65	0,36
9	1,64	1,09	1,01	0,56	0,51	0,4
10	1,48	0,8	1,14	1,06	0,5	0,48
JUMLAH	12,75	9,93	9,6	9,36	8,29	4,43

Tabel 23. Data Parameter Berat Total Biji Ulangan Ketiga (gram)

Tanaman	0 gy	100 gy	150 gy	200 gy	250 gy	300 gy
1	1,6	0,92	1,02	1,2	0,61	0,45
2	1,62	0,89	0,85	1,12	0,58	0,28
3	1,42	0,85	0,78	0,92	1,03	0,62
4	1,27	0,94	0,84	0,79	0,89	0,48
5	0,63	0,84	1,26	1,19	1,03	0,38
6	1,28	1,18	0,67	1,12	0,85	0,35
7	1,63	1,21	1,13	0,84	1	0,23
8	0,54	0,89	1,19	0,8	0,62	0,54
9	1,28	1,17	1,05	0,45	1,13	0,45
10	1,61	0,86	0,65	0,7	0,66	0,6
JUMLAH	12,88	9,75	9,44	9,13	8,4	4,38

Tabel 24. Data Parameter Berat Total Biji Ulangan Keempat (gram)

Tanaman	0 gy	100 gy	150 gy	200 gy	250 gy	300 gy
1	1,56	0,86	0,8	1,04	0,93	0,48
2	1,03	1,17	1,12	1,18	0,88	0,52
3	1,04	0,87	0,81	1,14	0,54	0,54
4	1,62	1,29	1,14	1	0,89	0,26
5	1,51	0,93	0,84	0,6	0,58	0,44
6	1,36	1,32	0,94	0,79	1,04	0,46
7	1,26	0,76	0,9	0,67	0,89	0,32
8	0,98	0,8	0,88	0,67	1,16	0,47
9	1,02	0,82	0,94	1,04	0,79	0,45
10	0,58	0,84	1,06	1,14	1,04	0,38
JUMLAH	11,96	9,66	9,43	9,27	8,74	4,32

**Tabel 25. Data Parameter Kadar Protein Kacang Hijau**

DOSIS	UL 1	UL 2	UL 3	UL 4	JUMLAH	RATA2
0 GY	27,84%	28,00%	27,96%	27,90%	111,70%	2792,00%
100 GY	24,80%	25,02%	24,96%	24,85%	99,63%	24,90%
150 GY	23,56%	23,47%	23,38%	23,47%	93,88%	23,47%
200 GY	22,80%	22,98%	22,83%	23,03%	91,64%	22,90%
250 GY	22,18%	22,36%	22,08%	22,46%	89,08%	22,27%
300 GY	21,84%	21,98%	21,79%	22,03%	87,64%	21,91%



**LAMPIRAN 3** Analisis ANOVA dan Uji Lanjut DMRT 5%

Tabel 25. Analisis Data ANOVA dan Uji lanjut DMRT 5% pada Tinggi Tanaman

Kacang Hijau

## ANOVA

**Tinggi\_tanaman**

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	193.974	5	38.795	130.080	.377
Within Groups	5.368	18	.298		
Total	199.343	23			

**tinggi\_tanaman****Duncan**

Perlakuan	N	Subset for alpha = 0.05				
		1	2	3	4	5
300 gy	4	41.0125				
250 gy	4		42.1125			
150 gy	4			44.7250		
200 gy	4			44.8750		
100 gy	4				46.0625	
0 gy	4					49.8325
Sig.		1.000	1.000	.702	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,000.

Tabel 26. Analisis Data ANOVA dan Uji lanjut DMRT 5% pada Umur Berbunga Tanaman Kacang Hijau

**ANOVA**

**Umur Berbunga**

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	592.934	5	118.587	595.830	.185
Within Groups	3.583	18	.199		
Total	596.516	23			

**umur\_berbunga**

**Duncan**

Perlakuan	N	Subset for alpha = 0.05					
		1	2	3	4	5	6
0 gy	4	25.9750					
100 gy	4		26.9000				
150 gy	4			29.2250			
200 gy	4				32.7000		
250 gy	4					33.7000	
300 gy	4						40.7250
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,000.

Tabel 27. Analisis Data ANOVA dan Uji lanjut DMRT 5% pada Umur Panen Tanaman Kacang Hijau

**ANOVA**

Umur\_Panen

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	829.944	5	165.989	2.242E3	.300
Within Groups	1.332	18	.074		
Total	831.276	23			

**Umur\_Panen**

**Duncan**

Dosis	N	Subset for alpha = 0.05					
		1	2	3	4	5	6
0 gy	4	60.5750					
100 gy	4		63.2500				
150 gy	4			63.9750			
200 gy	4				67.6000		
250 gy	4					73.3000	
300 gy	4						77.2750
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,000.

Tabel 28. Analisis Data ANOVA dan Uji lanjut DMRT 5% pada Jumlah Polong Tanaman Kacang Hijau

JumlahPolong					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	6.273	5	1.255	110.166	.080
Within Groups	.205	18	.011		
Total	6.478	23			

Perlakuan	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
300 gy	4	1.8250		
250 gy	4		2.9500	
150 gy	4		3.0000	
200 gy	4		3.0000	
100 gy	4		3.0750	
0 gy	4			3.5000
Sig.		1.000	.145	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,000.

Tabel 29. Analisis Data ANOVA dan Uji lanjut DMRT 5% pada Jumlah Biji Tanaman Kacang Hijau

**ANOVA**

**Jumlah\_Biji**

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	533.335	5	106.667	221.454	.054
Within Groups	8.670	18	.482		
Total	542.005	23			

**Jumlah\_Biji**

**Duncan**

Dosis	N	Subset for alpha = 0.05				
		1	2	3	4	5
300 gy	4	7.8500				
250 gy	4		15.2250			
200 gy	4			16.5250		
150 gy	4				17.6500	
100 gy	4				18.1250	
0 gy	4					23.7750
Sig.		1.000	1.000	1.000	.346	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,000.

Tabel 30. Analisis Data ANOVA dan Uji lanjut DMRT 5% pada Berat Total Biji Tanaman Kacang Hijau

### ANOVA

Berat\_Biji

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	132.063	5	26.413	284.764	.112
Within Groups	1.670	18	.093		
Total	133.733	23			

### Berat\_Biji

Duncan

Dosis	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
300 gy	4	4.5050			
250 gy	4		8.6825		
200 gy	4			9.3400	
150 gy	4			9.5425	
100 gy	4			9.7850	
0 gy	4				12.4200
Sig.		1.000	1.000	.065	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,000.

Tabel 31. Analisis Data ANOVA dan Uji Lanjut DMRT 5% Pada Kadar Protein Kacang Hijau

**ANOVA**

**KADAR-PROTEIN**

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	98.510	5	19.702	403.925	.070
Within Groups	.878	18	.049		
Total	99.388	23			

**KADAR-PROTEIN**

Duncan

PERLAK UAN	N	Subset for alpha = 0.05					
		1	2	3	4	5	6
300 GY	4	21.9100					
250 GY	4		22.2700				
200 GY	4			22.9100			
150 GY	4				23.4700		
100 GY	4					24.7075	
0 GY	4						27.9250
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

## LAMPIRAN 4 BUKTI PENELITIAN

### 1. Alat Gamma Cell 220



### 2. Persiapan Media dan Perawatan



### 3. Pertumbuhan Tanaman



0 Gy

200 Gy

100 Gy



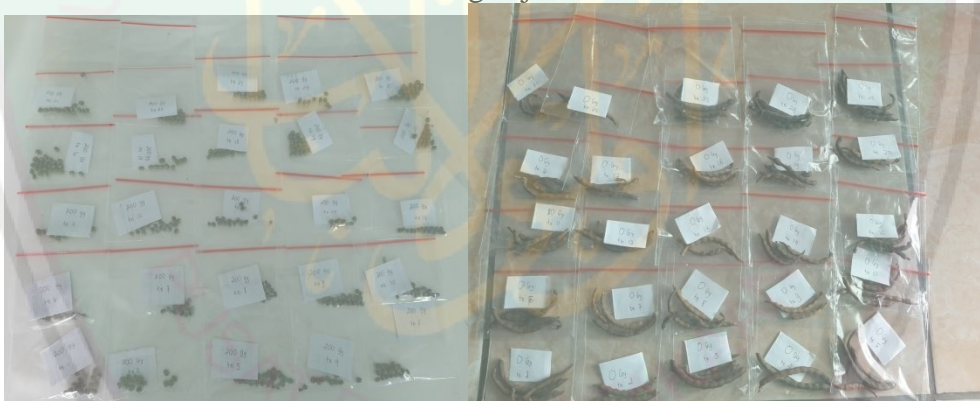
150 Gy

250 Gy

300 Gy



4. Hasil Panen Tanaman Kacang Hijau



5. Uji Kadar Protein





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** : Meilina Oktaviani  
**NIM** : 16640055  
**Fakultas/Jurusan** : Sains dan Teknologi/Fisika  
**Judul Skripsi** : Pengaruh Radiasi Sinar Gamma Co-60 Terhadap Respon Morfologi dan Kadar Protein Kacang Hijau (*Vigna Radiata L.*)  
**Pembimbing I** : Dr. H. Mokhammad Tirono, M.Si  
**Pembimbing II** : Drs. Abdul Basid, M.Si

No.	Tanggal	HAL	Tanda Tangan
1.	26 November 2019	Konsultasi Bab I, II dan III	
2.	23 Desember 2019	Konsultasi Bab I, II dan III	
3.	26 Desember 2019	Konsultasi Bab I, II dan III dan ACC	
4.	15 September 2020	Konsultasi Data Hasil Bab IV	
5.	18 September 2020	Konsultasi Data Hasil Bab IV	
6.	28 September 2020	Konsultasi Data Hasil Bab IV	
7.	26 Oktober 2020	Konsultasi Kajian Agama	
8.	02 November 2020	Konsultasi Bab IV dan V	
9.	11 Desember 2020	Konsultasi Kajian Agama dan ACC	
10.	14 Desember 2020	Konsultasi Semua Bab, Abstrak dan ACC	

Desember 2020  
Mendagri  
Kenza Jurusan Fisika  
Drs. Abdul Basid, M.Si  
NIP. 19650504 199003 1 003