

**KANDUNGAN NUTRISI DAN METABOLIT SEKUNDER PADA MUTAN  
KEDELAI (*Glycine max* (L.) Merril) GENERASI M1 VARIETAS DEGA 1  
HASIL IRADIASI SINAR GAMMA**

**TESIS**

**Oleh:  
RANA INDAH PUSPITA  
NIM. 210602210011**



**PROGRAM STUDI MAGISTER BIOLOGI  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2025**

**KANDUNGAN NUTRISI DAN METABOLIT SEKUNDER PADA MUTAN  
KEDELAI (*Glycine max* (L.) Merril) GENERASI M1 VARIETAS DEGA 1  
HASIL IRADIASI SINAR GAMMA**

**TESIS**

**Oleh:  
RANA INDAH PUSPITA  
NIM. 210602210011**

**Diajukan kepada:  
Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang  
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam  
Memperoleh Gelar Magister Sains (M.Si)**

**PROGRAM STUDI MAGISTER BIOLOGI  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2025**

**KANDUNGAN NUTRISI DAN METABOLIT SEKUNDER PADA MUTAN  
KEDELAI (*Glycine max* (L.) Merril) GENERASI M1 VARIETAS DEGA 1  
HASIL IRADIASI SINAR GAMMA**

**TESIS**

Oleh :  
**RANA INDAH PUSPITA**  
NIM. 210602210011

telah diperiksa dan disetujui untuk diuji  
tanggal : 27 Juni 2025

**Pembimbing I**



**Prof. Dr. Evika Sandi Savitri, M.P**

**NIP. 19741018 200312 2 002**

**Pembimbing II**



**Dr. Eko Budi Minarno, M.Pd**

**NIP. 19630114 199903 1 001**

Mengetahui,  
Kepala Program Studi Magister Biologi



**Hj. Bayyinatul Muchtaromah, M.Si**

**NIP. 19710919 200003 2 001**

**ANALISIS KADAR NUTRISI DAN METABOLIT SEKUNDER PADA MUTAN  
KEDELAI (*Glycine max* (L.) Merrill) GENERASI M1 VARIETAS DEGA 1 HASIL  
IRADIASI SINAR GAMMA**

**TESIS**

**Oleh:  
RANA INDAH PUSPITA  
NIM. 210602210011**

**telah dipertahankan  
di depan Dewan Penguji Tesis dan dinyatakan diterima sebagai  
salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Magister Sains (M.Si)  
Tanggal : 27 Juni 2025**

<b>Penguji Utama</b>	<b><u>Prof.Dr.drh. Hj. Bayvinatul Muchtaromah, M.Si</u></b> NIP. 19710919 2000 03 2 001	
<b>Ketua Penguji</b>	<b>Dr. H. Agus Mulyono, S.Pd., M.Kes</b> NIP. 19750808 199903 1 003	
<b>Sekretaris Penguji</b>	<b><u>Prof. Dr. Evika Sandi Savitri, M.P</u></b> NIP. 19741018 200312 2 002	
<b>Anggota Penguji</b>	<b><u>Dr. Eko Budi Minarno, M.Pd</u></b> NIP. 19630114 199903 1 001	

**Mengesahkan,  
Ketua Program Studi Magister Biologi**



**H. Bayvinatul Muchtaromah, M.Si**  
NIP. 19710919 200003 2 001

*Alhamdulillahirobbil'alamin*, Puji Syukur ke hadirat Allah SWT Yang Maha Pengasih Lagi Maha Penyayang, berkat rahmat dan ridho-Mu, serta senantiasa memberikan kelimpahan atas nikmat kesehatan dan kesabaran, sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir dengan baik. Tidak lupa sholawat serta salam kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW.

Kupersembahkan karya kecil yang masih jauh dari kesempurnaan ini kepada orang-orang hebat yang selalu memberikan semangat dan motivasi, teruntuk:

1. Kedua orang tuaku, Bapak Mujiono dan Ibu Enis Shofiyah, dua orang hebat dan tersayang yang selalu memberikan do'a untuk ilmu yang bermanfaat dan dapat terwujudnya cita-cita. Tidak lupa saudara-saudaraku, Adik Fachry dan Andien yang senantiasa memberikan dukungan hingga saya mampu menyelesaikan tugas akhir.
2. Ibu Prof. Dr. Evika Sandi Savitri, M.P selaku dosen pembimbing yang selalu menyediakan waktu untuk bimbingan walaupun dalam kondisi sibuk serta memberika motivasi menyelesaikan tugas akhir.
3. Bapak Dr. Eko Budi Minarno, M.Pd selaku dosen pembimbing yang senantiasa memberikan bimbingan, motivasi serta ilmu selama ini.
4. Diri sendiri yang telah berjuang keras dalam menyelesaikan tugas akhir tesis ini.
5. Semua pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu-persatu yang telah memberikan do'a, dukungan, dan motivasi kepada saya.

Semoga dengan karya kecil ini dapat memberikan kebermanfaatan bagi saya dan orang lain. *Aaminn Yaa Robbal 'Alamin*.

## MOTTO

لَا يُكَلِّفُ اللَّهُ نَفْسًا إِلَّا وُسْعَهَا ۗ

*“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya.”*

- Q.S Al-Baqarah [2:286]

## PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rana Indah Puspita  
NIM : 210602210011  
Program Studi : Magister Biologi  
Fakultas : Sains dan Teknologi  
Judul Penelitian : Kandungan Nutrisi dan Metabolit Sekunder Pada Mutan Kedelai (*Glycine max* (L.) Merril) Generasi M1 Varietas Dega 1 Hasil Iradiasi Sinar Gamma

menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan tesis ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi akademik maupun hukum atas perbuatan tersebut.

Malang, 20 Juni 2025  
Yang membuat pernyataan,



Rana Indah Puspita  
NIM. 210602210011

## **PEDOMAN PENGGUNAAN TESIS**

Tesis ini tidak dipublikasikan namun terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada penulis. Daftar Pustaka diperkenankan untuk dicatat, tetapi pengutipan hanya dapat dilakukan seizin penulis dan harus disertai kebiasaan ilmiah untuk menyebutkannya.

**Kandungan Nutrisi dan Metabolit Sekunder Pada Mutan Kedelai (*Glycine max* (L.)  
Merril) Generasi M1 Varietas Dega 1  
Hasil Iradiasi Sinar Gamma**

Rana Indah Puspita, Evika Sandi Savitri, Eko Budi Minarno

Program Studi Magister Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi,  
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang

**ABSTRAK**

Kedelai merupakan salah satu sumber protein nabati dan lemak tak jenuh yang dikonsumsi sebagai makanan. Kedelai juga mengandung senyawa metabolit sekunder seperti fenol, flavonoid, dan isoflavon yang cukup tinggi. Satu di antara program pemuliaan tanaman untuk peningkatan produksi kedelai adalah rekayasa genetik berupa mutasi atau perubahan genetik dengan iradiasi sinar Gamma. Dosis iradiasi sinar Gamma yang diberikan pada penelitian ini adalah 0 Gy, 200 Gy, dan 400 Gy. Varietas kedelai yang digunakan adalah varietas Dega 1. Keunggulan dari kedelai varietas Dega 1 diantaranya adalah berumur genjah dan berbiji besar, tahan terhadap penyakit karat daun dan adaptif pada lahan sawah. Pada penelitian ini menggunakan mutan kedelai generasi M1. Secara genetik, generasi M1 bersifat heterozigot karena terdapat perubahan satu alel yang dipengaruhi dari hasil mutasi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh iradiasi sinar Gamma terhadap kandungan protein, lemak, total fenol, flavonoid, dan isoflavon genistein pada mutan kedelai. Penelitian ini termasuk jenis penelitian eksperimental dan data dianalisis menggunakan uji statistik deskriptif standar deviasi (SD). Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan 400 Gy mampu meningkatkan kandungan protein pada mutan kedelai generasi M1 varietas Dega 1 yaitu sebesar 41,49%. Perlakuan 200 Gy mampu meningkatkan kandungan lemak pada mutan kedelai generasi M1 varietas Dega 1 yaitu sebesar 16,86%. Perlakuan 400 Gy mampu meningkatkan kandungan total fenol dan flavonoid pada mutan kedelai generasi M1 varietas Dega 1 yaitu sebesar 441,003 ppm dan 48,2195 ppm. Kandungan isoflavon genistein pada mutan kedelai generasi M1 varietas Dega 1 terjadi peningkatan pada dosis 200 Gy yaitu sebesar 0,0348%.

**Kata Kunci:** Kandungan nutrisi, metabolit sekunder, mutan kedelai (*Glycine max* (L.) Merril) generasi M1 varietas Dega 1, iradiasi sinar Gamma

## **Nutritional Content and Secondary Metabolites in M1 Generation Soybean Mutants (*Glycine max* (L.) Merrill) Dega 1 Variety Induced by Gamma Ray Irradiation**

Rana Indah Puspita, Evika Sandi Savitri, Eko Budi Minamo

Master of Biology Study Program, Faculty of Science and Technology,  
State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang

### **ABSTRACT**

Soybeans are one of the sources of vegetable protein and unsaturated fats consumed as food. Soybeans also contain secondary metabolite compounds such as phenols, flavonoids, and isoflavones which are quite high. One of the plant breeding programs to increase soybean production is genetic engineering in the form of mutation or genetic alteration with Gamma ray irradiation. The Gamma ray irradiation doses given in this study were 0 Gy, 200 Gy, and 400 Gy. The soybean variety used was the Dega 1 variety. The advantages of the Dega 1 soybean variety include early maturity and large seeds, resistance to leaf rust disease and adaptability to rice fields. This study used the M1 generation soybean mutant. Genetically, the M1 generation is heterozygous because there is a change in one allele influenced by the mutation results. The purpose of this study was to analyze the effect of Gamma ray irradiation on protein and fat content, total phenol, flavonoid, and genistein isoflavone content in soybean mutants. This study is an experimental study and the data were analyzed using the descriptive statistical test of standard deviation (SD). The results showed that 400 Gy treatment was able to increase the protein content in the M1 generation soybean mutant variety Dega 1 by 41.49%. 200 Gy treatment was able to increase the fat content in the M1 generation soybean mutant variety Dega 1 by 16.86%. 400 Gy treatment was able to increase the total phenol and flavonoid content in the M1 generation soybean mutant variety Dega 1 by 441.003 ppm and 48.2195 ppm. The isoflavone genistein content in the M1 generation soybean mutant variety Dega 1 increased at a dose of 200 Gy by 0.0348%.

**Keywords:** Nutritional content, secondary metabolites, M1 generation soybean mutant (*Glycine max* (L.) Merrill) variety Dega 1, Gamma ray irradiation

**(*Glycine max* (L.)** محتوى العناصر الغذائية والمركبات الأيضية الثانوية في طفرات فول الصويا  
للسنف ديغا 1 M1 الجيل الأول (Merril)

**نتائج التشعيع بأشعة غاما**

رنا إنداه بوسبيتا، إفيكا ساندي سافيتري، إيكو بودي مينارنو

،برنامج ماجستير البيولوجيا، كلية العلوم والتكنولوجيا

الجامعة الإسلامية الحكومية مولانا مالك إبراهيم مالانج

**الملخص**

يُعتبر فول الصويا أحد المصادر الأساسية للبروتين النباتي والدهون غير المشبعة التي تُستهلك كغذاء. كما يحتوي على مركبات أيضية ثانوية مثل الفينولات، الفلافونويدات، والإيزوفلافونات بنسبة مرتفعة. ومن بين برامج تحسين النباتات لزيادة إنتاج فول الصويا هو التعديل الوراثي من خلال الطفرات باستخدام أشعة غاما. تم استخدام جرعات من أشعة غاما في هذا البحث بمقدار 0 غراي، 200 غراي، و400 غراي. أما صنف فول الصويا المستخدم فهو ديغا 1، الذي يتميز بعمره القصير وحجم بذوره الكبير ومقاومته لصدأ الأوراق وهو جيل متغاير، M1 وتكيفه مع الأراضي الزراعية. استخدم هذا البحث طفرات فول الصويا للجيل الأول الزيجوت وراثيًا نتيجة لتغير أليل واحد بسبب الطفرة. يهدف هذا البحث إلى تحليل تأثير تشعيع أشعة غاما على محتوى البروتين والدهون، ومحتوى الفينولات الكلية، الفلافونويدات، والإيزوفلافون جينيستين في طفرات فول الصويا. يُصنف هذا البحث ضمن الدراسات التجريبية، وتم تحليل البيانات باستخدام الإحصاء الوصفي (الانحراف المعياري). أظهرت النتائج أن المعالجة بجرعة 400 غراي زادت من محتوى للسنف ديغا 1 بنسبة 41.49%. كما زادت جرعة M1 200 البروتين في طفرات فول الصويا للجيل الأول غراي من محتوى الدهون بنسبة 16.86%. ورفعت جرعة 400 غراي من محتوى الفينولات الكلية والفلافونويدات إلى 441.003 جزء في المليون و48.2195 جزء في المليون على التوالي. وحدثت زيادة % في محتوى الإيزوفلافون جينيستين عند جرعة 200 غراي بنسبة 0.0348.

**(*Glycine max* (L.)** محتوى العناصر الغذائية، المركبات الأيضية الثانوية، طفرات فول الصويا: **الكلمات المفتاحية**  
تشعيع أشعة غاما، M1 الجيل الأول (Merril)

## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum Wr. Wb*

Alhamdulillah, Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmad serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini dengan judul “Kandungan Nutrisi dan Metabolit Sekunder Pada Mutan Kedelai (*Glycine max* (L.) Merril) Generasi M1 Varietas Dega 1 Hasil Iradiasi Sinar Gamma”. Tidak lupa shalawat serta salam disampaikan kepada Rasulullah Nabi Muhammad SAW, yang telah menuntun umat manusia dari zaman jahiliyah menuju zaman yang penuh keberkahan dengan ilmu pengetahuan seperti saat ini.

Penulis meyakini bahwa banyak pihak yang telah ikut berpartisipasi dan membantu dalam penyusunan serta penyelesaian tesis ini, maka penulis menyampaikan terima kasih sebanyak-banyaknya khususnya kepada:

1. Prof. Dr. H. M. Zainuddin, M.A., selaku Rektor UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Prof. Dr. Hj. Sri Harini, M.Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Prof. Dr. Drh. Hj. Bayyinatul Muchtaromah, M.Si, selaku Ketua Program Studi Magister Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Prof. Dr. Evika Sandi Savitri, M.P dan Dr. H. Eko Budi Minarno, M.Pd selaku Dosen Pembimbing I dan II yang telah membimbing penulis dengan penuh kesabaran serta keikhlasan dalam meluangkan waktu untuk membimbing penulis sehingga tugas akhir tesis ini dapat terselesaikan.
5. Ayah Ibu tersayang dan adik tercinta yang senantiasa memberikan doa dan dukungan kepada penulis dalam menuntut ilmu.
6. Seluruh pihak yang memberikan bantuan maupun dukungan dalam penyusunan tesis ini.

Penulis berharap semoga tesis ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan penulis serta menambah khasanah ilmu pengetahuan. *Aamin ya robbal 'alamin.*

*Wassalamu'alaikum Wr.Wb*

Malang, 22 Januari 2025

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN SAMPUL</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PERSETUJUAN</b> .....	Error! Bookmark not defined.
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	Error! Bookmark not defined.
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	<b>v</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN</b> .....	Error! Bookmark not defined.
<b>PEDOMAN PENGGUNAAN TESIS</b> .....	<b>vii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>viii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ix</b>
<b>المخلص</b> .....	<b>x</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xviii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>19</b>
1.1 Latar Belakang .....	19
1.2 Rumusan Masalah .....	26
1.3 Tujuan Penelitian.....	27
1.4 Hipotesis Penelitian.....	27
1.5 Manfaat Penelitian.....	27
1.6 Batasan Masalah.....	28
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>29</b>
2.1 Tanaman Kedelai ( <i>Glycine max</i> (L.) Merril) dalam Perspektif Al-Qur'an .	29
2.2 Tanaman Kedelai ( <i>Glycine max</i> (L.) Merril) dalam Perspektif Sains .....	30
2.2.1 Klasifikasi Tanaman Kedelai ( <i>Glycine max</i> (L.) Merril).....	30
2.2.2 Morfologi Tanaman Kedelai ( <i>Glycine max</i> (L.) Merril).....	31
2.2.3 Batang Tanaman Kedelai ( <i>Glycine max</i> (L.) Merril).....	32
2.2.4 Akar Tanaman Kedelai ( <i>Glycine max</i> (L.) Merril) .....	33

2.2.5 Daun Tanaman Kedelai ( <i>Glycine max</i> (L.) Merrill) .....	34
2.2.6 Bunga Tanaman Kedelai ( <i>Glycine max</i> (L.) Merrill).....	35
2.2.7 Polong Tanaman Kedelai ( <i>Glycine max</i> (L.) Merrill).....	35
2.2.8 Biji Tanaman Kedelai ( <i>Glycine max</i> (L.) Merrill) .....	36
2.3 Varietas Kedelai Dega 1 .....	37
2.4 Kandungan Nutrisi Kedelai .....	38
2.4.1 Protein.....	38
2.4.2 Lemak .....	40
2.5 Kandungan Metabolit Sekunder Kedelai.....	41
2.5.1 Fenol .....	41
2.5.2 Flavonoid.....	42
2.5.3 Isoflavon .....	43
2.6 Pemuliaan Mutasi Tanaman .....	46
2.7 Efek Iradiasi Sinar Gamma Terhadap Genetik Kedelai ( <i>Glycine max</i> (L.) Merrill) .....	47
2.8 Metode <i>Kjeldahl</i> .....	50
2.9 Metode Gravimetri .....	52
2.10 Spektrofotometri UV-Vis .....	52
2.10.1 Definisi Spektrofotometri UV-Vis .....	52
2.10.2 Tipe-tipe Spektrofotometer UV-Vis .....	53
2.10.3 Prinsip Kerja Spektrofotometer UV-Vis .....	54
2.11 High Performance Liquid Chromatography (HPLC).....	57
2.11.1 Komponen HPLC .....	58
2.11.1.1 Pompa ( <i>Pomp</i> ) .....	58
2.11.1.2 Injektor ( <i>Injector</i> ) .....	59
2.11.1.3 Kolom ( <i>Column</i> ).....	60
2.11.1.4 Detektor ( <i>Detector</i> ).....	61
2.11.1.5 Elusi Gradien .....	61
2.11.1.6 Fase Gerak .....	61
2.11.1.7 Fase Diam .....	63
2.12 Kerangka Konseptual .....	63
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>66</b>
3.1 Rancangan Penelitian .....	66

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian .....	66
3.3 Variabel Penelitian .....	67
3.4 Alat dan Bahan .....	67
3.4.1 Alat.....	67
3.4.2 Bahan .....	68
3.4 Prosedur Penelitian.....	68
3.4.1 Penyinaran iradiasi sinar Gamma cobalt-60 .....	68
3.4.2 Penanaman Benih Kedelai Mutan.....	68
3.4.2 Pengambilan dan Pengolahan Sampel .....	68
3.4.3 Ekstraksi Biji Kedelai dengan Metode Maserasi.....	69
3.4.4 Penetapan Kadar Total Fenol dengan Spektrofotometri UV-Vis .....	69
3.4.5 Penetapan Kadar Flavonoid Total dengan Spektrofotometri UV-Vis (Shraim <i>et al.</i> , 2021) .....	70
3.4.6 Uji Kadar Protein dengan Metode Kjeldahl .....	73
3.4.7 Uji Kadar Lemak dengan Metode Gravimetri .....	74
3.4.8 Penentuan Kadar Isoflavon Genistein menggunakan <i>High Performance Liquid Chromatography</i> (HPLC).....	75
3.5 Analisis Data .....	76
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>77</b>
4.1 Kandungan Protein Pada Mutan Kedelai ( <i>Glycine max</i> (L.) Merrill) Generasi M1 Varietas Dega 1 Hasil Iradiasi Sinar Gamma .....	77
4.2 Kandungan Lemak Pada Mutan Kedelai Generasi M1 Varietas Dega 1 .... Hasil Iradiasi Sinar Gamma.....	81
4.3 Kandungan Metabolit Sekunder Pada Mutan Kedelai ( <i>Glycine max</i> (L.) Merrill) Generasi M1 Varietas Dega 1 Hasil Iradiasi Sinar Gamma .....	84
4.3.1 Kandungan Total Fenol (ppm) Pada Mutan Kedelai ( <i>Glycine max</i> (L.) ..... Merrill) Generasi M1 Varietas Dega 1 Hasil Iradiasi Sinar Gamma.....	84
4.3.2 Kandungan Flavonoid (ppm) Pada Mutan Kedelai ( <i>Glycine max</i> (L.) Merrill) Generasi M1 Varietas Dega 1 Hasil Iradiasi Sinar Gamma.....	87
4.3.3 Kandungan Isoflavon Genistein Pada Mutan Kedelai ( <i>Glycine max</i> (L.) ..... Merrill) Generasi M1 Varietas Dega 1 Hasil Iradiasi Sinar Gamma.....	90
4.4 Tinjauan Hasil Penelitian dalam Perspektif Islam .....	94

<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>99</b>
5.1 Kesimpulan.....	99
5.2 Saran .....	99
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>100</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>111</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
3. 1 Denah Percobaan.....	66
4.1 Uji Statistik Deskriptif Kandungan Protein Pada Mutan Kedelai Generasi M1 Varietas Dega 1 Hasil Iradiasi Sinar Gamma .....	77
4.2 Uji Statistik Deskriptif Kandungan Lemak Pada Mutan Kedelai Generasi M1 Varietas Dega 1 Hasil Iradiasi Sinar Gamma .....	81
4.3 Uji Statistik Deskriptif Kandungan Total Fenol Pada Mutan Kedelai Generasi M1 Varietas Dega 1 Hasil Iradiasi Sinar Gamma.....	84
4.4 Uji Statistik Deskriptif Kandungan Flavonoid Pada Mutan Kedelai Generasi M1 Varietas Dega 1 Hasil Iradiasi Sinar Gamma.....	87
4.5 Uji Statistik Deskriptif Kandungan Isoflavon Genistein Pada Mutan Kedelai Generasi M1 Varietas Dega 1 Hasil Iradiasi Sinar Gamma.....	90

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2. 1 Tanaman Kedelai.....	31
Gambar 2. 2 Batang Tanaman Kedelai .....	33
Gambar 2. 3 Akar Tanaman Kedelai.....	34
Gambar 2. 4 Daun Tanaman Kedelai .....	34
Gambar 2. 5 Bunga Tanaman Kedelai .....	35
Gambar 2. 6 Polong Tanaman Kedelai .....	36
Gambar 2. 7 Biji Kedelai .....	37
Gambar 2. 8 Biji Kedelai Varietas Dega 1 .....	38
Gambar 2. 9 Rumus Kimia Asam Amino dalam Protein.....	39
Gambar 2. 10 Struktur Asam Lemak Trigliserida.....	26
Gambar 2. 11 Struktur Kimia Flavonoid.....	43
Gambar 2.12 Struktur Isoflavon Daidzein, Genistin, dan Glisitin.....	29
Gambar 2.13 Efek Iradiasi Ionisasi.....	33
Gambar 2. 14 Diagram spektrofotometer UV-Vis (single-beam).....	53
Gambar 2. 15 Diagram spektrofotometer UV-Vis ( <i>double-beam</i> ) .....	54
Gambar 2. 16 Skema Kerja Instrumen HPLC.....	58

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Analisis Kandungan Protein dengan Metode Kjeldahl Pada Mutan Kedelai Hasil Iradasi Sinar Gamma .....	111
Lampiran 2. Hasil Analisis Kandungan Lemak dengan Metode Gravimetri Pada Mutan Kedelai Hasil Iradiasi Sinar Gamma .....	112
Lampiran 3. Hasil Analisis Kandungan Total Fenol dengan Metode Spektrofotometri UV-Vis Pada Mutan Kedelai Hasil Iradiasi Sinar Gamma.....	113
Lampiran 4. Hasil Analisis Kandungan Flavonoid dengan Metode Spektrofotometri UV-Vis Pada Mutan Kedelai Hasil Iradiasi Sinar Gamma.....	114
Lampiran 5. Hasil Analisis Kandungan Isoflavon Genistein dengan Metode HPLC Pada Mutan Kedelai Hasil Iradiasi Sinar Gamma.....	115
Lampiran 6. Hasil Uji Deskriptif SPSS.....	120

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kedelai merupakan salah satu tumbuhan yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan pangan. Allah SWT berfirman dalam surat Yasin (36) ayat 33:

وَأَيُّ لَّهُمُ الْأَرْضُ الْمَيْتَةُ أَحْيَيْنَاهَا وَأَخْرَجْنَا مِنْهَا حَبًّا فَمِنْهُ يَأْكُلُونَ ﴿٣٣﴾

Artinya : “Suatu tanda (kekuasaan-Nya) bagi mereka adalah bumi yang mati (tandus lalu) Kami menghidupkannya dan mengeluarkan darinya biji-bijian kemudian dari (biji-bijian) itu mereka makan.”

Menurut tafsir dari Ibnu Katsir (2007), Allah SWT menyebutkan salah satu tanda kekuasaan-Nya adalah menghidupkan bumi yang mati (kering) dengan menumbuhkan biji-bijian yang dapat dimanfaatkan oleh manusia. Biji-bijian ini mencakup tanaman-tanaman yang mengandung nutrisi penting, seperti gandum, padi, dan kedelai. Kedelai juga merupakan tanaman biji-bijian yang memiliki manfaat, karena mengandung kandungan zat gizi yang dapat dimanfaatkan oleh manusia sebagai sumber bahan pangan. Kedelai merupakan salah satu sumber protein nabati dan lemak tak jenuh yang dikonsumsi sebagai makanan maupun suplemen makanan (Jia *et al.*, 2020).

Berdasarkan data FAO (*Food and Agriculture Organization*), kedelai menjadi tanaman pangan yang paling banyak dibudidayakan secara global dengan permintaan yang terus meningkat setiap tahun (Rizzo dan Baroni, 2018). Data dari (BPS, 2023) menunjukkan produksi kedelai dalam negeri berkisar pada angka 555.000 ton, sedangkan kebutuhan nasional mencapai 2,7 juta ton. Hal ini memicu terjadi peningkatan impor komoditas kedelai sebanyak 1,95 juta ton. Hampir 85,7% total kedelai Indonesia diimpor dari negara Amerika Serikat.

Peningkatan impor kedelai berkaitan dengan harga kedelai yang relatif murah sehingga digemari oleh masyarakat.

Upaya pemerintah Indonesia dalam peningkatan produksi kedelai agar mampu mencapai swasembada kedelai adalah melalui ekstensifikasi dan intensifikasi lahan. Salah satu upaya ekstensifikasi lahan adalah pemanfaatan tanah pesisir yang dapat menjadi alternatif untuk permasalahan berkurangnya tanah subur. Tanah yang memiliki kadar salinitas yang cukup tinggi dapat menjadi pilihan dan dimanfaatkan untuk budidaya kedelai (Nusantara dkk., 2019). Upaya intensifikasi dapat dilakukan dengan program pemuliaan tanaman untuk peningkatan produksi kedelai berkualitas unggul. Satu di antara program pemuliaan tanaman adalah rekayasa genetik berupa mutasi atau perubahan genetik dengan iradiasi sinar Gamma. Iradiasi merupakan penyinaran suatu objek dengan radiasi buatan seperti sinar Gamma (Kroll *et al.*, 2022). Hal ini disebabkan sifat yang tampak (fenotipe) adalah hasil interaksi genotipe dan lingkungan. Jika genotipe berubah akibat dari iradiasi, maka fenotipe juga akan berubah.

Menurut Hu *et al* (2022), sebagai tanaman penyerbukan sendiri, kedelai akan menghasilkan keturunan yang tidak terjadi segregasi, dan keragaman genetik baru yang dihasilkan menunjukkan bahwa keragaman genetik kedelai rendah. Oleh karena itu dilakukan upaya untuk pemuliaan tanaman kedelai. Ada dua metode konvensional untuk mengembangbiakkan tanaman kedelai, yaitu persilangan dan rekayasa genetika. Teknik menciptakan keragaman genetik pada kedelai melalui hibridisasi atau persilangan sulit dilakukan karena bunga yang dihasilkan kecil dan rapuh, sehingga prosedur persilangan menjadi sulit. Hal tersebut menyebabkan teknik hibridisasi atau persilangan kurang berhasil.

Induksi mutasi merupakan teknik pemuliaan yang efektif untuk mengembangbiakkan jenis tanaman yang esensial pada peningkatan ketahanan pangan global di tahun-tahun mendatang. Induksi mutasi telah menghasilkan sejumlah besar variabilitas genetik dan banyak digunakan untuk pengembangan gen yang mengendalikan sifat-sifat penting pada tanaman. Saat ini, pengembangan sumber daya genetik baru untuk peningkatan genetik sifat kualitatif atau kuantitatif pada kedelai mayoritas bergantung pada pemuliaan mutasi. Dibandingkan dengan pemuliaan konvensional, pemuliaan mutasi gen menghasilkan kultivar tanaman lebih cepat (Wang *et al.*, 2020).

Penggunaan sinar Gamma dalam pemuliaan tanaman telah terbukti menjadi teknik yang esensial untuk meningkatkan kualitas tanaman dan meningkatkan produktivitas pertanian. Radiasi pengion dalam bentuk sinar Gamma dapat menyebabkan mutasi acak pada DNA tanaman, yang mengakibatkan perbedaan genetik dan dapat menghasilkan karakteristik yang diharapkan. Pemberian dosis sinar Gamma yang terkontrol pada tanaman dapat menghasilkan berbagai macam mutasi, beberapa di antaranya dapat memberikan karakteristik yang menguntungkan seperti peningkatan hasil panen, ketahanan terhadap penyakit, atau peningkatan toleransi terhadap tekanan lingkungan. Keunggulan dari mutagen sinar Gamma terletak pada kemampuannya untuk menginduksi seluruh genom, sehingga menyediakan spektrum variabilitas genetik untuk selanjutnya dilakukan seleksi. Mutagenesis yang diinduksi sinar Gamma memberikan pendekatan yang efektif untuk pemuliaan tanaman, berkontribusi pada pengembangan varietas tanaman baru yang lebih sesuai untuk menghadapi

tantangan perubahan iklim dan meningkatnya permintaan pangan (Ghareeb *et al.*, 2022).

Penelitian yang dilakukan oleh Mohsen *et al* (2023) menunjukkan bahwa terdapat peningkatan pada kandungan protein dan lemak kedelai yang diiradiasi sinar Gamma. Adapun dosis paling optimum sebesar 100 Gy untuk lemak dengan persentase 15 % dan dosis 200 Gy untuk protein dengan persentase 38,02%. Hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh de Barros *et al* (2019) menunjukkan bahwa iradiasi sinar Gamma berpengaruh pada peningkatan total fenol kedelai. Adapun dosis optimal yang memberikan hasil signifikan adalah 4 kGy pada kultivar BRS-213 dan BRS-258 sebesar  $15,5 \pm 1,1$  mg/g dan  $14,0 \pm 0,1$  mg/g.

Hasil penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Farkhad dan Abdolkarim (2020) menunjukkan bahwa terdapat peningkatan total fenol, kadar flavonoid, dan isoflavon genistein serta daidzein pada kedelai (*Glycin max* L. Merrill) kultivar Williams yang diiradiasi sinar Gamma dibandingkan dengan kontrol. Adapun dosis sinar Gamma yang memberikan hasil terbaik adalah 0,5 kGy. Total fenol tertinggi adalah  $16.12 \pm 0.49$   $\mu\text{g}/\text{mg}$ , kadar flavonoid tertinggi adalah  $9.46 \pm 0.44$   $\mu\text{g}/\text{mg}$ , dan kadar isoflavon genistein tertinggi sebesar  $0.174 \pm 0.001$  mg/g. Dosis tersebut diberikan karena termasuk dosis yang tidak bersifat destruktif dan akan menghasilkan varietas genetik dari benih kedelai.

Beberapa varietas kedelai unggul yang ada di Indonesia adalah varietas Anjasmoro, Baluran, Ijen, Dena 1, Dena 2, Devon 1, Gamasugen 1, Gamasugen 2. Salah satu varietas kedelai yang telah dihasilkan Balitkabi dan baru dilepas pada 22 September 2015 adalah varietas Dega 1 yang memiliki karakteristik berumur

genjah dan berbiji besar dibandingkan dengan varietas lain. Varietas Dega 1 merupakan hasil persilangan tunggal antara varietas Grobogan dan Malabar. Adapun keunggulan dari kedelai varietas Dega 1 dapat dipanen pada umur 69-73 hari, tahan terhadap penyakit karat daun dan adaptif pada lahan sawah. Rata-rata hasil varietas Dega 1 mencapai 2,78 ton/ha dengan potensi hasil 3,82 ton/ha, kandungan protein 37,78%, kandungan lemak 17,29%. Tinggi tanaman  $\pm 53$  cm dan jumlah polong per tanaman  $\pm 29$  polong (Balitkabi, 2016).

Pada penelitian ini menggunakan mutan kedelai generasi M1 yang diiradiasi sinar Gamma. Secara genetik, generasi M1 bersifat heterozigot karena terdapat perubahan satu alel yang dipengaruhi dari hasil mutasi. Generasi M1 hanya dapat mengidentifikasi mutasi dominan. Oleh karena itu, pemulia tanaman akan melakukan seleksi pada generasi selanjutnya untuk memunculkan segregasi (Agrawal & Manish, 2021).

Tanaman kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) merupakan tanaman pangan yang memiliki manfaat penting dalam memenuhi kebutuhan gizi manusia (Ko *et al.*, 2019). Menurut Kim *et al.* (2021), kacang kedelai mengandung lipid (18%), protein (38%), karbohidrat (30%), dan zat lainnya (14%) yang meliputi vitamin dan mineral yang tidak dibutuhkan dalam jumlah besar oleh tubuh. Selain itu, kedelai memiliki protein berkualitas tinggi yang sebanding dengan susu, daging, dan telur, namun bebas dari lemak jenuh serta kolesterol. Protein kedelai mengandung semua asam amino yang diperlukan untuk tubuh, sehingga dapat menggantikan protein hewani dalam pola makan vegetarian atau vegan (Hu *et al.*, 2020).

Kandungan protein pada kedelai cukup tinggi sebesar 38% dibandingkan dengan jenis kacang lainnya, sehingga menjadikan kedelai sebagai sumber protein nabati utama yang diolah menjadi makanan seperti tahu, tempe, oncom, tauco, yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat Indonesia. Wang *et al* (2020) mengungkapkan bahwa terdapat peningkatan kadar protein yang signifikan pada kedelai (*Glycine max* L. Merrill) yang diiradiasi sinar Gamma. Adapun pemberian dosis efektif radiasi sinar Gamma dalam penelitian tersebut adalah sebesar 7,5 kGy dengan peningkatan kadar protein sebesar  $41 \pm 0,47\%$ . Penelitian lainnya yang dilakukan oleh Dalfiansyah dkk (2016) menunjukkan bahwa terdapat pengaruh pemberian radiasi sinar Gamma terhadap kadar protein dan lemak pada mutan M2 kedelai Kipas Putih (*Glycine max* L. Merr). Kandungan protein tertinggi pada genotipe KP200-51 (G9) sebesar 39.01%, sedangkan untuk lemak tertinggi pada genotipe KP200-52 (G10) sebesar 15.16%.

Kedelai juga terdapat kandungan nutrisi lemak. Lemak tak jenuh ganda pada kedelai yaitu asam linoleat atau asam lemak omega-3 yang biasa terdapat pada minyak ikan, namun dapat ditemukan pada kedelai. Lemak pada kedelai merupakan lemak jenis rendah lemak jenuh dan bebas kolesterol. Asam lemak omega-3 bermanfaat untuk mencegah penyakit jantung dan kanker (Ningrumsari dkk., 2022). Selain sebagai sumber protein dan lemak tak jenuh, kedelai juga mengandung senyawa metabolit sekunder seperti fenol, flavonoid, dan isoflavon. Tanaman kedelai menghasilkan metabolit sekunder sebagai mekanisme pertahanan dari stres biotik dan abiotik (Mierza dkk., 2023). Fenol dan flavonoid dapat bertindak sebagai antioksidan untuk menghambat degradasi DNA yang disebabkan oleh radikal bebas. Kedelai mengandung isoflavon yang merupakan

turunan dari fenol dan flavonoid. Isoflavon pada kedelai memiliki jumlah tertinggi, yaitu 3 mg/g berat kering dari metabolit sekunder lainnya (Kim *et al.*, 2021).

Isoflavon kedelai diklasifikasikan menjadi empat kategori berdasarkan struktur kimianya, yaitu aglikon, glikosida, asetilglikosida, dan malonilglikosida (Hu *et al.*, 2020). Kandungan isoflavon tertinggi ditunjukkan oleh isoflavon aglikon yaitu, genistein, daidzein, dan glisitein. Genistein dan daidzein dilaporkan sebagai senyawa utama dengan jumlah signifikan yang terkandung dalam kedelai (Sulistiyowati *et al.*, 2018). Iklim, lokasi penanaman, tahun penanaman, tanggal penanaman dalam tahun penanaman tertentu, spesies kedelai, dan kondisi penyimpanan adalah beberapa faktor genetik dan lingkungan yang mempengaruhi konsentrasi isoflavon kedelai (Szymczak *et al.*, 2017). Di antara isoflavon kedelai, genistein mampu menghambat proliferasi sel penyebab kanker payudara, anti-inflamasi, mencegah osteoporosis, mencegah penyakit neurodegeneratif seperti Alzheimer, antidiabetik, dan antiobesitas (Farkhad dan Abdolkarim, 2020).

Karakteristik yang lebih spesifik dari profil flavonoid adalah isoflavon. 2-hydroxyisoflavone synthase (IFS) merupakan enzim tanaman yang menghasilkan isoflavon, yaitu molekul metabolit sekunder yang merupakan salah satu zat gizi yang terdapat dalam kacang kedelai (Daud, 2019). Tanaman yang termasuk dalam famili Leguminosae, khususnya kacang kedelai, memiliki kadar isoflavon yang tinggi. Isoflavon dalam kedelai disebut sebagai fitoestrogen sebab secara struktur dan fungsinya mirip dengan hormon estrogen (Yu *et al.*, 2021).

Efek radiasi bergantung pada dosis, dosis yang lebih tinggi dapat mengakibatkan terjadinya fragmentasi, *crosslinkage* (ikatan silang), dan

pembentukan radikal bebas. Namun pada dosis radiasi yang optimal dapat meningkatkan aktivitas metabolit sekunder. Radiasi sinar Gamma berinteraksi dengan mekanisme biosintesis tanaman yang membentuk *reactive oxygen species* (ROS) atau radikal bebas yang disebabkan oleh radiolisis air. Hal ini memicu respons stres oksidatif, menghasilkan berbagai enzim pertahanan dan antioksidan yang sebanding dengan konsentrasi metabolit sekunder (Kapare *et al.*, 2017). Dosis radiasi sinar Gamma yang rendah sebesar 100-400 Gy menghasilkan percepatan proliferasi sel, laju perkecambahan, pertumbuhan sel, aktivitas enzimatis, ketahanan terhadap stres, dan peningkatan hasil panen serta kontraksi metabolit sekunder (Choi *et al.*, 2021).

Berdasarkan latar belakang di atas dapat diketahui bahwa pengaruh iradiasi sinar Gamma pada kandungan protein, lemak, total fenol, flavonoid, dan isoflavon genistein pada kedelai penting untuk dilakukan. Adanya kebutuhan akan varietas unggul yang tidak hanya memiliki potensi hasil tinggi tetapi juga memenuhi standar nutrisi, penting untuk dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai kandungan protein, lemak, flavonoid, total fenol, dan isoflavon genistein pada kedelai mutan M1 varietas Dega 1 hasil iradiasi sinar Gamma dengan dosis 0 Gy, 200 Gy, dan 400 Gy.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Masalah yang ada dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Apakah terdapat pengaruh iradiasi sinar Gamma terhadap protein pada mutan kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) generasi M1 varietas Dega 1?
2. Apakah terdapat pengaruh iradiasi sinar Gamma terhadap lemak pada mutan kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) generasi M1 varietas Dega 1?

3. Apakah terdapat pengaruh iradiasi sinar Gamma terhadap kandungan total fenol, flavonoid, dan isoflavon genistein pada mutan kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) generasi M1 varietas Dega 1?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh iradiasi sinar Gamma terhadap protein pada mutan kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) generasi M1 varietas Dega 1.
2. Menganalisis pengaruh iradiasi Gamma terhadap kadar pada mutan kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) generasi M1 varietas Dega 1.
3. Menganalisis pengaruh iradiasi sinar Gamma terhadap kandungan total fenol, flavonoid, dan isoflavon genistein pada mutan kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) generasi M1 varietas Dega 1.

### **1.4 Hipotesis Penelitian**

Hipotesis dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Ada pengaruh iradiasi sinar Gamma terhadap protein pada mutan kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) generasi M1 varietas Dega 1.
2. Ada pengaruh iradiasi sinar Gamma terhadap lemak pada mutan kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) generasi M1 varietas Dega 1.
3. Ada pengaruh iradiasi sinar Gamma terhadap kandungan total fenol, flavonoid, dan isoflavon genistein pada mutan kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) generasi M1 varietas Dega 1.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Diperolehnya informasi ilmiah tentang pengaruh radiasi Gamma terhadap protein, lemak, total fenol, kandungan flavonoid, dan isoflavon genistein pada tanaman kedelai, khususnya pada varietas Dega 1.

2. Diperolehnya informasi ilmiah mengenai pengembangan varietas kedelai yang memiliki kandungan protein, lemak, total fenol, flavonoid, dan isoflavon genistein lebih tinggi, sehingga dapat berkontribusi pada peningkatan kualitas pangan dan kesehatan masyarakat.
3. Diperolehnya informasi ilmiah guna mendukung upaya pengembangan varietas kedelai unggul yang lebih tahan terhadap kondisi lingkungan dan memiliki kandungan nutrisi yang lebih baik, yang pada akhirnya dapat meningkatkan produksi kedelai nasional dan kesejahteraan petani.

### **1.6 Batasan Masalah**

Batasan masalah dari penelitian adalah sebagai berikut:

1. Benih kedelai generasi M1 diperoleh dari hasil panen di BSIP (Badan Standardisasi Instrumen Pertanian) Kota Malang.
2. Benih kedelai yang digunakan adalah varietas Dega 1.
3. Dosis iradiasi sinar Gamma yang digunakan adalah 0 Gy, 200 Gy, dan 400 Gy.
4. Metode yang digunakan untuk pengujian protein adalah metode Kjeldahl.
5. Metode yang digunakan untuk pengujian lemak adalah metode Gravimetri.
6. Pengujian total fenol dan flavonoid menggunakan spektrofotometri UV-Vis.
7. Pengujian isoflavon genistein menggunakan *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC).
8. Parameter yang diamati dalam penelitian ini adalah kandungan protein, lemak, total fenol, flavonoid, dan isoflavon genistein.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Tanaman Kedelai (*Glycine max* (L.) Merril) dalam Perspektif Al-Qur'an

Adapun penciptaan tanaman kedelai bersumber dari firman Allah SWT

dalam QS: 'Abasa (80) ayat 24-32:

فَلْيَنْظُرِ الْإِنْسَانُ إِلَى طَعَامِهِ ﴿٢٤﴾ أَنَا صَبَبْنَا الْمَاءَ صَبًّا ﴿٢٥﴾ ثُمَّ شَقَقْنَا الْأَرْضَ شَقًّا ﴿٢٦﴾ فَأَنْبَتْنَا فِيهَا  
حَبًّا ﴿٢٧﴾ وَعِنَبًا وَقَضْبًا ﴿٢٨﴾ وَزَيْتُونًا وَنَخْلًا ﴿٢٩﴾ وَحَدَائِقَ غُلْبًا ﴿٣٠﴾ وَفَاكِهَةً وَأَبًّا ﴿٣١﴾ مَتَاعًا لَكُمْ  
وَلِأَنْعَامِكُمْ ﴿٣٢﴾

Artinya: “Maka hendaklah manusia itu memperhatikan makanannya. Sesungguhnya Kami benar-benar telah mencurahkan air (dari langit), kemudian Kami belah bumi dengan sebaik-baiknya, lalu Kami tumbuhkan biji-bijian di bumi itu, anggur dan sayur-sayuran, zaitun, dan kurma, kebun-kebun (yang) lebat, dan buah-buahan serta rumput-rumputan, untuk kesenanganmu dan untuk binatang-binatang ternakmu”.

Ayat tersebut mengajak manusia untuk memperhatikan dari mana makanannya berasal, yaitu dari proses yang diciptakan oleh Allah SWT. Setelah Allah SWT menurunkan hujan, bumi membelah dan menumbuhkan berbagai tanaman. Ayat 27 yang berbunyi فَأَنْبَتْنَا فِيهَا حَبًّا artinya “lalu Kami tumbuhkan biji-bijian di bumi itu” ini meliputi semua biji-bijian yang dimakan oleh manusia dan hewan. Termasuk salah satunya adalah kedelai yang dapat dijadikan sebagai bahan makanan bagi manusia. Menurut tafsir dari Ibnu Katsir (2007), biji-bijian dan tanaman yang telah Allah SWT tumbuhkan dari bumi merupakan rizki yang Allah SWT sediakan untuk mencukupi kebutuhan manusia.

Tanaman kedelai sebagai bahan pangan bermanfaat sesuai dengan firman Allah dalam QS: Al-An'am (6) ayat 99 sebagai berikut:

وَهُوَ الَّذِي أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ نَبَاتَ كُلِّ شَيْءٍ فَأَخْرَجْنَا مِنْهُ خَضِرًا نُخْرُجُ  
 مِنْهُ حَبًّا مُتَرَاكِبًا وَمِنَ النَّخْلِ مِنَ طَلْعِهَا قِنْوَانٌ دَانِيَةٌ وَجَذَّتْ مِنَ أَعْنَابٍ وَالزَّيْتُونَ وَالرُّمَّانَ مُشْتَبِهًا  
 وَغَيْرَ مُتَشَابِهٍ<sup>ط</sup> انظُرُوا إِلَى ثَمَرِهِ إِذَا أَثْمَرَ وَيَنْعِهِ إِنَّ فِي ذَلِكَُمْ لَآيَاتٍ لِقَوْمٍ يُؤْمِنُونَ ﴿١٩٩﴾

Artinya: “Dialah yang menurunkan air dari langit lalu dengannya Kami menumbuhkan segala macam tumbuhan. Maka, darinya Kami mengeluarkan tanaman yang menghijau. Darinya Kami mengeluarkan butir yang bertumpuk (banyak). Dari mayang kurma (mengurai) tangkai-tangkai yang menjuntai. (Kami menumbuhkan) kebun-kebun anggur. (Kami menumbuhkan pula) zaitun dan delima yang serupa dan yang tidak serupa. Perhatikanlah buahnya pada waktu berbuah dan menjadi masak. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda-tanda (kekuasaan Allah) bagi kaum yang beriman.”

Menurut tafsir Shihab (2007), proses turunnya air hujan dari langit dan pertumbuhan berbagai jenis tumbuhan, termasuk tanaman penghasil biji-bijian. Biji-bijian tersebut merupakan bentuk rezeki dari Allah yang diberikan kepada manusia untuk dimanfaatkan. Salah satu tanaman penghasil biji adalah kedelai (*Glycine max*) yang saat ini dikenal sebagai salah satu sumber utama protein nabati untuk konsumsi manusia dan pakan ternak. Tanaman kedelai memiliki kemampuan fiksasi nitrogen melalui bintil akarnya, sehingga berkontribusi terhadap kesuburan tanah, yang sesuai dengan konsep keberkahan dan keseimbangan ekosistem dalam Islam. Selain sebagai sumber pangan, kedelai memiliki manfaat dalam bidang kesehatan karena di dalamnya terdapat kandungan senyawa bioaktif.

## 2.2 Tanaman Kedelai (*Glycine max* (L.) Merril) dalam Perspektif Sains

### 2.2.1 Klasifikasi Tanaman Kedelai (*Glycine max* (L.) Merril)

Tanaman kedelai (*Glycine max* (L.) Merril) merupakan salah satu jenis polong-polongan yang banyak dibudidayakan dan diproduksi bijinya. Tanaman

ini berbentuk perdu atau semak yang merupakan tanaman semusim. Klasifikasi tanaman kedelai menurut Yuwono (2016) adalah sebagai berikut:

Kingdom : Plantae

Divisi : Spermatophyta

Sub-divisi : Angiospermae

Kelas : Dicotyledonae

Ordo : Polypetales

Famili : Fabaceae / Leguminosae / Papilionaceae

Sub-famili : Papilionoideae

Genus : *Glycine*

Spesies : *Glycine max* (L.)



**Gambar 2. 1 Tanaman Kedelai (Wirasti dkk., 2024)**

### **2.2.2 Morfologi Tanaman Kedelai (*Glycine max* (L.) Merril)**

*Glycine soja*, atau kedelai hitam, dan *Glycine max*, atau kedelai hijau, putih, atau kuning, adalah dua spesies dasar kedelai. Sementara *Glycine max* adalah tanaman asli Asia subtropis, termasuk Jepang Selatan dan Republik Rakyat Tiongkok, *Glycine soja* adalah tanaman asli Asia tropis, termasuk Asia Tenggara. Setelah itu, tanaman ini masuk ke Korea, Jepang, Indonesia, dan Asia Tenggara. Setelah jagung dan beras, kedelai menempati peringkat ketiga sebagai tanaman

pangan terpenting. Produk ini terjangkau, aman dikonsumsi, dan kaya akan protein nabati, yang dibutuhkan untuk meningkatkan gizi masyarakat. Seiring dengan pertumbuhan penduduk, peningkatan pendapatan per kapita, dan meningkatnya pengetahuan masyarakat tentang gizi pangan, konsumsi kedelai di Indonesia meningkat setiap tahunnya. Tempe, tahu, kecap, tauco, oncom, dan susu kedelai termasuk makanan olahan kedelai yang sering dikonsumsi masyarakat Indonesia. Berdasarkan data empiris, produksi kedelai dalam negeri tumbuh lebih lambat dibanding permintaan. Oleh karena itu, Indonesia mengimpor 70% kedelainya setiap tahunnya untuk menutupi kekurangan produksi (Barela *et al.*, 2022).

### **2.2.3 Batang Tanaman Kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill)**

Struktur tubuh utama tanaman kedelai terdiri dari batang, akar, daun, bunga, polong, dan biji. Secara umum, tanaman kedelai berbetuk perdu yang tumbuh setinggi 30 hingga 100 cm. Tanaman ini dapat memiliki tiga hingga enam batang, dan kulit batangnya berwarna ungu, hijau, dan sedikit berkayu. Pertumbuhan batang tanaman ini dapat diklasifikasikan sebagai determinate, indeterminate, atau semi-determinate. Saat bunga mulai berkembang, bentuk determinan tanaman kedelai mengandung sifat yang mencegah batang tumbuh lagi. Jenis indeterminate, di sisi lain, dibedakan oleh ujung batang yang dapat terus tumbuh bahkan setelah tanaman berbunga. Di sisi lain, jenis semi-determinate memiliki ciri-ciri dari kedua kategori tersebut. Meskipun beberapa kultivar kedelai tidak berbulu, batang tanaman kedelai ditutupi dengan bulu berwarna coklat atau abu-abu. Dalam keadaan normal, jumlah buku pada batang berkisar antara 15 hingga 20 dengan jarak antar buku 2 hingga 9 cm. Namun,

jumlahnya akan bertambah seiring bertambahnya usia tanaman. Jenis pertumbuhan batang dan lamanya cahaya matahari memengaruhi jumlah bulu pada batang tanaman kedelai. Dibandingkan dengan jenis pertumbuhan determinate, jenis pertumbuhan indeterminate biasanya mengandung lebih banyak bulu. (Cheng *et al.*, 2022).



**Gambar 2. 2 Batang Tanaman Kedelai (Yang *et al.*, 2022)**

#### **2.2.4 Akar Tanaman Kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill)**

Baik akar tunggang maupun akar sekunder (berserat) ditemukan pada tanaman kedelai. Sementara akar berserat tumbuh pada kedalaman tanah yang relatif dangkal yaitu 20–30 cm, akar tunggang kedelai biasanya dapat tumbuh pada kedalaman tanah 30–50 cm. Nodul, yang merupakan jenis simbiosis akar dengan bakteri pengikat nitrogen seperti *Rhizobium japonicum*, dapat tumbuh pada sebagian akar. Nitrogen dari udara bebas diikat oleh nodul akar. Adanya bintil akar memiliki peran dalam proses fiksasi N<sub>2</sub> yang sangat dibutuhkan oleh tanaman kedelai untuk kelanjutan pertumbuhan, khususnya dalam aspek penyediaan unsur hara nitrogen. Kehadiran leghemoglobin, yang diyakini aktif dalam mengikat nitrogen, memberikan bintil akar yang matang warna merah muda yang khas. Bintil akar telah layu pada minggu keenam atau ketujuh (Chun *et al.*, 2021).



**Gambar 2. 3 Akar Tanaman Kedelai (Vorobey *et al.*, 2022)**

### **2.2.5 Daun Tanaman Kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill)**

Dua bentuk daun utama yang terlihat pada tanaman kedelai adalah daun trifoliolate, yang muncul setelah periode perkecambahan, dan tahap kotiledon, yang muncul saat tanaman masih berupa tunas dengan dua daun tunggal. Umumnya, tangkai daun lateral hanya sepanjang 1 cm. Selain daunnya yang kompleks dengan tiga helai daun pada satu tangkai (trifoliolate), daun kedelai memiliki empat bentuk berbeda: lanset, segitiga, lonjong meruncing, dan lonjong membulat. Bentuk daun dipengaruhi oleh karakteristik genetik dari induknya. Daun kedelai juga mempunyai bulu, ukuran bulu daun kedelai umumnya pendek dan berwarna hijau tua atau hijau muda bergantung pada varietas kedelai. Umumnya tanaman kedelai yang mempunyai bentuk daun yang lebar sangat cocok jika ditanam pada lahan dengan tingkat kesuburan tanah tinggi atau banyak terdapat bahan organik (Li *et al.*, 2020).



**Gambar 2. 4 Daun Tanaman Kedelai (Shilpashree *et al.*, 2021)**

### 2.2.6 Bunga Tanaman Kedelai (*Glycine max* (L.) Merril)

Kedelai merupakan tanaman menyerbuk sendiri yang memiliki bunga sempurna karena pada setiap bunga memiliki alat reproduksi jantan dan betina. Karena penyerbukan terjadi saat bunga masih tertutup, peluang terjadinya penyerbukan silang sangat kecil—hanya 0,1%. Bunga kedelai berwarna putih atau ungu menyerupai kupu-kupu. Ovarium dan benang sarinya ditutupi oleh lima helai yang membentuk mahkota bunga. Sekitar 20–80% bunga kedelai tidak berkembang secara efektif menjadi polong. Jika kehilangan bunga kedelai antara 20 dan 40 persen, hal ini dapat dianggap normal (Shilpashree *et al.*, 2021). Persentase rata-rata bunga yang berhasil membentuk polong berisi adalah 84% dalam kondisi ideal. Di daerah tanpa naungan, tanaman kedelai biasanya berbunga antara usia 36 dan 48 jam (Li *et al.*, 2025).



**Gambar 2. 5 Bunga Tanaman Kedelai (Shilpashree *et al.*, 2021)**

### 2.2.7 Polong Tanaman Kedelai (*Glycine max* (L.) Merril)

Kedelai termasuk tanaman yang bersifat menyebuk sendiri (*self pollination*). Sepuluh hingga empat belas hari setelah bunga pertama muncul, polong pertama muncul. Li *et al* (2025), menyatakan bahwa meskipun biasanya terdapat dua hingga tiga biji per polong, setiap polong dapat berisi satu hingga lima biji. Polong kedelai berbulu, berwarna abu-abu, dan berwarna kuning kecokelatan. Polongnya berukuran panjang 2–7 cm dan tipis atau lurus. Buah

yang dikenal sebagai polong akan dihasilkan melalui proses penyerbukan. Polong kacang kedelai berbulu dan panjang, pipih ( $\pm 3$  cm). Polong kedelai berwarna hijau saat masih muda, berubah menjadi kuning kecokelatan atau cokelat saat sudah tua atau matang secara fisiologis. Polong ini bersegmen, dengan dua hingga lima biji di setiap polong. Tahap yang paling krusial untuk mendapatkan hasil terbaik pada kedelai adalah masa pengisian biji. Selama tahap ini, proses pengisian biji akan terpengaruh secara negatif oleh serangan hama dan penyakit serta ketersediaan air.



**Gambar 2. 6 Polong Tanaman Kedelai (Shilpashree *et al.*, 2021)**

### **2.2.8 Biji Tanaman Kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill)**

Biji tanaman kedelai umumnya berbentuk lonjong, meskipun warnanya dapat sangat bervariasi, mulai dari kuning, coklat hingga hitam, atau campuran berbagai warna, tergantung varietasnya. Biji kedelai mempunyai ukuran yang bervariasi, yakni biji berukuran besar (berat  $>14$  g/100 biji), sedang (berat 10-14 g/100 biji), dan kecil (berat  $<10$  g/100 biji). Karena benih kedelai tidak melewati fase dorman, benih tersebut dapat langsung ditanam dengan kadar air 12–13% setelah prosedur penaburan selesai (Barela *et al.*, 2022).



**Gambar 2. 7 Biji Kedelai (Rahmat, 2020)**

### **2.3 Varietas Kedelai Dega 1**

Varietas pada tanaman kedelai meliputi Anjasmoro, Baluran, Ijen, Dena 1, Dena 2, Devon 1, Gamasugen 1, Gamasugen 2. Salah satu varietas kedelai yang telah dihasilkan Balitkabi dan baru dilepas pada 22 September 2015 adalah varietas Dega 1 yang memiliki karakteristik berumur genjah dan berbiji besar dibandingkan dengan varietas lain. Umur kedelai varietas Dega 1 ini hanya 70 – 73 hari, rata-rata 71 hari, bobot 100 biji berkisar 19–23 g/100 biji, rata-rata 21 g/100 biji, dan produktivitasnya berkisar 2,0–3,8 t/ha, rata-rata 2,7 t/ha, pada kondisi lahan optimal dapat mencapai lebih dari 3 t/ha. Varietas Dega 1 merupakan hasil persilangan tunggal antara varietas Grobogan dan Malabar. Adapun keunggulan dari kedelai varietas Dega 1 dapat dipanen pada umur 69-73 hari, agak tahan terhadap penyakit karat daun dan adaptif pada lahan sawah. Rata-rata hasil varietas Dega 1 mencapai 2,78 ton/ha dengan potensi hasil 3,82 ton/ha, kandungan protein 37,78%, kandungan lemak 17,29%. Tinggi tanaman  $\pm 53$  cm dan jumlah polong per tanaman  $\pm 29$  polong (Balitkabi, 2016).



**Gambar 2. 8 Biji Kedelai Varietas Dega 1 (Balitkabi, 2016)**

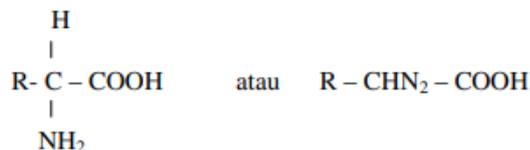
## **2.4 Kandungan Nutrisi Kedelai**

### **2.4.1 Protein**

Protein adalah senyawa organik dengan molekul tinggi yang terdiri dari C (51-55%), H (0,5-7,3%), O (21,5-23,5%), N (15,5-18%), dan P (0,001-1,5%). Kacang kedelai merupakan sumber protein, serat, vitamin, dan mineral. Protein kacang kedelai sekitar 70% dari semua protein dan memiliki fungsi tambahan. Protein lainnya termasuk dalam kelompok albumin yang memiliki fungsi enzimatik dan struktural. Sebagian besar dari protein tersebut mampu membentuk kompleks tidak aktif, yang mempengaruhi nilai biologis dan kegunaan teknologi bahan baku untuk produksi pangan. Selain itu, protein kedelai juga merupakan pengatur aktivitas proteolitik. Inhibitor protease merupakan sekitar 6% dari protein kacang kedelai yang larut (Zhang *et al.*, 2021).

Kualitas gizi protein pada kacang-kacangan, terutama kedelai, sangat tinggi karena komposisi protein tersebut hampir sama dengan protein hewani. Komposisi asam amino protein kedelai mendekati protein hewani, khususnya kandungan asam amino eksogen, yaitu fenilalanina, metionina, treonina, valina, isoleusina, leusin, triptofan, dan lisin. Dalam literatur referensi, persentase kandungannya dalam biji kedelai dilaporkan sebagai berikut: leusin sekitar 8 g/100 g protein; lisin sekitar 6,5 g/100 g protein; valin sekitar 5 g/100 g protein; isoleusina sekitar 5 g/100 g protein; dan fenilalanina sekitar 4 g/100 g protein.

Dibandingkan dengan protein hewani, protein kedelai dicirikan oleh kandungan asam amino sulfur yang lebih rendah (Kudelka *et al.*, 2021).



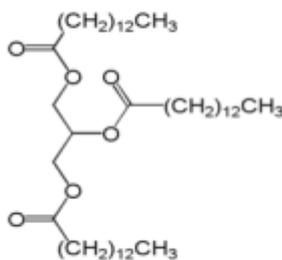
**Gambar 2. 9 Rumus Kimia Asam Amino dalam Protein (Zhang *et al.*, 2021)**

Komponen organik C, H, O, N, dan S yang tersusun dari asam amino berpadu untuk menghasilkan protein. Mengonsumsi telur, susu, ikan, dan udang dapat memicu reaksi alergi karena asam amino tertentu menghasilkan peptida yang dapat diserap tubuh ke dalam pembuluh darah. Semua sistem kehidupan mengandung protein, yang merupakan bagian penting dari sel dan menyusun hampir setengah dari berat keringnya. Protein nabati terbuat dari zat-zat dalam tanah dan air melalui proses biokimia yang rumit dan ditemukan pada tanaman. Kacang-kacangan merupakan sumber protein nabati yang baik (Sui *et al.*, 2021).

Meskipun kadar asam amino sulfur seperti metionina, sisteina, dan teronina rendah, protein kedelai memiliki kualitas yang sama tingginya dengan protein hewani. Manfaat mengonsumsi kacang-kacangan, seperti kacang kedelai, telah dibuktikan oleh beberapa penelitian. Makanan berbahan kedelai dianggap sebagai sumber protein yang baik, rendah lemak jenuh, dan bebas kolesterol. Bahkan protein kedelai dapat menurunkan kadar kolesterol darah dengan meningkatkan ekskresi kolesterol. Menurut epidemiologi, mengonsumsi kedelai mengurangi risiko terkena kanker payudara dan jenis kanker lainnya. Kadar metionina yang rendah pada protein kedelai merupakan salah satu keunggulannya. (Dai *et al.*, 2022).

## 2.4.2 Lemak

Trigliserida, fosfolipid, glikolipid, dan terpenoid (seperti gom dan steroid) merupakan beberapa senyawa alami yang menyusun lemak. Lemak merupakan komponen makanan yang penting untuk menjaga kesehatan manusia. Kalori dari lemak lebih tinggi daripada kalori dari karbohidrat. Protein hanya menghasilkan 3 kkal/g dan karbohidrat hanya 4 kkal/g, tetapi satu gram lemak dapat menghasilkan 9 kkal. Lemak berbeda dari minyak karena lemak utamanya berasal dari hewan, sedangkan minyak berasal dari tumbuhan. Selain itu, lemak memiliki lebih banyak ikatan rangkap daripada minyak, yang disebut sebagai lemak jenuh. Lemak jenuh dan tak jenuh adalah dua jenis lemak. Lemak tak jenuh memiliki banyak ikatan rangkap pada atom karbonnya, sehingga lebih rentan terhadap oksidasi daripada lemak jenuh, yang terdiri dari ikatan karbon tunggal (Ningtyas *et al.*, 2021).



**Gambar 2. 10 Struktur Asam Lemak Trigliserida (Ningtyas *et al.*, 2021)**

Asam lemak yang ditemukan dalam kacang kedelai terutama terdiri dari asam lemak esensial yang memainkan peran penting dalam fungsi tubuh. Minyak goreng dan semua kebutuhan makanan dapat dibuat dengan minyak kedelai. Lebih dari separuh dari semua bahan makanan, terutama margarin dan shortening, diproduksi menggunakan minyak kedelai. Karena komposisi minyak kedelai,

yang kira-kira 85% asam lemak tak jenuh, hampir 90% produksinya digunakan dalam industri makanan dalam keadaan terhidrogenasi. Menurut Helk & Widhalm (2020), minyak kedelai digunakan dalam produksi lilin, sabun, poles, insektisida, dan berbagai produk lainnya. Dibandingkan dengan jenis kacang lainnya, kandungan minyak kedelai relatif rendah, sedangkan kandungan proteinnya tinggi. Karena alasan ini, kedelai lebih banyak digunakan untuk kandungan proteinnya daripada minyaknya.

Sebagai asam lemak tak jenuh rantai ganda, asam linoleat dan linolenat tergolong asam lemak esensial. Tubuh membutuhkan asam linoleat dan linolenat, yang harus diperoleh melalui makanan karena tubuh tidak dapat memproduksinya sendiri. Menurut Kang *et al* (2023), kacang kedelai mengandung asam linoleat dan linolenat dalam jumlah yang cukup signifikan, berkisar antara 7 hingga 54%.

## **2.5 Kandungan Metabolit Sekunder Kedelai**

### **2.5.1 Fenol**

Tumbuhan mensintesis senyawa fenolik secara alami selama pertumbuhannya atau sebagai respons terhadap berbagai tekanan biotik dan abiotik, termasuk infeksi, luka, dan radiasi UV. Senyawa-senyawa ini berfungsi sebagai molekul pemberi sinyal antara tumbuhan dan mikroorganisme simbiotik. Tumbuhan polong-polongan kaya akan senyawa fenolik; misalnya, biji kedelai mengandung total fenolik berkisar antara 3,04-5,71 mg ekuivalen katekin/g. Menurut Kroi & Amarowicz (2020), flavonoid, asam fenolik, dan prosianidin merupakan senyawa fenolik dominan yang ditemukan dalam biji Leguminosae.

Aktivitas senyawa fenolik secara khusus ditentukan oleh keragaman strukturnya. Misalnya, senyawa fenolik yang ditemukan pada tanaman polong-polongan, seperti cajanin, medicarpin, glyceolin, rotenone, coumestrol, phaseolin,

phaseolinin, isoflavonoid, dan flavonoid, berfungsi sebagai fitoantispin dan fitoaleksin sekaligus berfungsi sebagai nematisida terhadap patogen yang ditularkan melalui tanah dan hama serangga (Choi *et al.*, 2020).

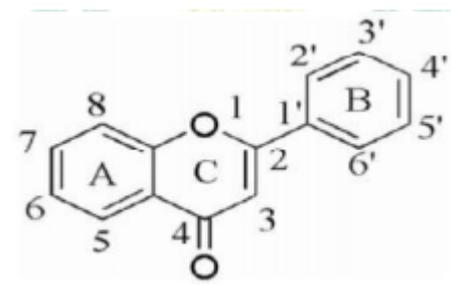
Sebagai turunan fungsional, senyawa fenolik didefinisikan sebagai senyawa yang mengandung satu cincin aromatik dan satu atau lebih substitusi gugus hidroksil (-OH). Senyawa fenolik hadir dalam berbagai macam bentuk, mulai dari senyawa fenol berstruktur sederhana hingga polifenol. Karena zat kimia fenolik biasanya terletak di vakuola sel dan terikat pada gula sebagai glikosida, senyawa ini cenderung mudah larut dalam air. Namun, menurut Chen *et al* (2021), beberapa senyawa fenol juga bersifat lipofilik.

### **2.5.2 Flavonoid**

Flavonoid merupakan zat polifenol yang memiliki beberapa kemampuan mereduksi dan mungkin memiliki sifat antioksidan. Flavonol, flavanol, antosianin, isoflavonoid, flavanon, dan flavon merupakan anggota dari keluarga antioksidan flavonoid. Difenilpropana ( $C_6H_3C_6$ ) merupakan struktur yang dimiliki oleh semua subkelompok ini. Sebagai agen pereduksi, donor hidrogen, penyerap oksigen tunggal, penangkap radikal superoksida, dan pengkelat logam, kualitas antioksidan flavonoid sudah ada sejak lahir dalam struktur cincinnya. Selain itu, kelompok ini menurunkan stres nitrosatif, mencegah oksidasi, dan mengaktifkan enzim antioksidan (Sunarti, 2021).

Satu cincin aromatik, A, dan satu cincin aromatik, B, ditambah cincin tengah heterosiklik dengan oksigen membentuk kerangka flavonoid. Bentuk teroksidasi dari cincin ini berfungsi sebagai dasar untuk subkelompok flavonoid. Lokasi karbon di sekitar molekul diidentifikasi oleh skema penomoran. Pengatur pertumbuhan tanaman dan pertahanan terhadap stres lingkungan adalah dua

keuntungan flavonoid. Sebagai pengatur hormon dan penghambat enzim, flavonoid juga melindungi terhadap sinar UV dan menarik bakteri, virus, jamur, dan serangga penyerbuk. Flavonoid berperan dalam pewarnaan bunga, fiksasi simbiosis, dan filtrasi UV (Arifin *et al.*, 2021).



**Gambar 2. 11 Struktur Kimia Flavonoid (Putri, 2022)**

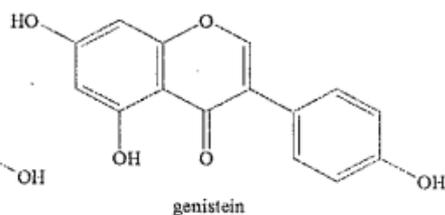
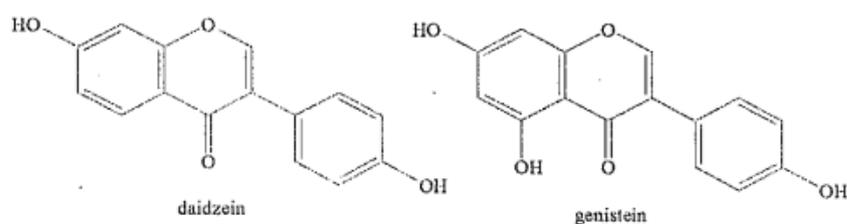
Manfaat flavonoid pada manusia memiliki sifat antijamur, antibakteri, antiradang, antikanker, antialergi, dan pencegah osteoporosis selain sebagai stimulan jantung, diuretik, dan agen penurun gula darah. Karena flavonoid adalah antioksidan, flavonoid dapat menurunkan laju terjadinya oksidasi lemak, sehingga mencegah penyakit kardiovaskular. Flavonoid telah terbukti dalam berbagai penelitian dapat menurunkan hiperlipidemia manusia. Flavonoid dapat menghentikan produksi sel busa dan degradasi lipid pada kasus penyakit jantung dengan menghambat oksidasi LDL. Flavonoid merupakan senyawa kimia dengan berat molekul rendah dengan rumus dasar  $C_6C_3C_6$ , yang tersusun dari dua cincin benzena yang dihubungkan oleh tiga karbon. Flavonoid dikenal sebagai bioflavonoid karena sifat antioksidannya dalam tubuh (Chen *et al.*, 2021).

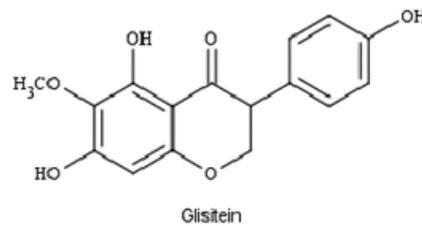
### 2.5.3 Isoflavon

Metabolit sekunder merupakan produk metabolisme yang unik bagi setiap organisme hidup dan diproduksi melalui jalur tertentu dari metabolit utama termasuk asam amino, lipid, dan karbohidrat. Metabolit sekunder merupakan sumber bahan kimia dengan aktivitas farmakologis yang signifikan dan

diproduksi untuk meningkatkan pertahanan diri. Untuk melindungi diri dari stresor biotik dan abiotik, tanaman menciptakan molekul metabolit sekunder (Kuligowski *et al.*, 2022).

Flavonoid utama yang ditemukan dalam biji kedelai adalah isoflavon, yang dapat bertindak sebagai antioksidan dengan mengikat radikal bebas dan menghentikan reaksi berantainya. Aglikon isoflavon, khususnya genistein, memiliki aktivitas antioksidan tertinggi di antara senyawa isoflavone. Kategori flavonoid polifenol mencakup isoflavon. Meskipun orientasi cincin B berbeda, struktur kimia isoflavon dan flavon hampir identik. Keduanya memiliki dua cincin benzena (A dan B) yang terikat pada cincin piran heterosiklik C. Karbon nomor 2 dari cincin tengah C mengikat cincin B dalam flavon, sedangkan karbon nomor 3 mengikat isoflavon.. Isoflavon utama yang ditemukan dalam kacang kedelai adalah daidzein (4',7-dihidroksiisoflavon) dan genestein (4',5'7-try hidroksiisoflavon), bersama dengan turunan  $\beta$  glikosidanya. Isoflavon lainnya, termasuk glisitin (7,4'-dihidroksi-6-metoksi-isoflavon) dan glikosidanya, juga terdapat dalam konsentrasi yang sangat sedikit. Secara alami,  $\beta$ -glikosida, atau glikon, membentuk hampir semua isoflavon yang ditemukan dalam kacang kedelai. Tumbuhan menjaga bentuk glikosida tetap tidak aktif sehingga dapat digunakan sebagai antioksidan (Zhang *et al.*, 2020).





**Gambar 2.12 Struktur Isoflavon Daidzein, Genistein, dan Glisitin (Zhang *et al.*, 2020)**

Zat kimia fitoestrogen meliputi senyawa flavonoid yang dikenal sebagai isoflavon. Kelompok tanaman yang dikenal sebagai fitoestrogen meliputi buah-buahan, sayur-sayuran, sereal, dan kacang-kacangan yang memiliki karakteristik yang sama dengan hormon estrogen. Aglikon dan glikosida merupakan dua kerangka struktural yang menyusun isoflavon kedelai. Tubuh tidak dapat menyerap glikosida isoflavon; sebagai gantinya, enzim  $\beta$ -glukosidase harus menghidrolisis isoflavon di dalam usus untuk memutus ikatan glikosida. Isoflavon merupakan antioksidan yang dapat meningkatkan kapasitas antioksidan tubuh dan menghentikan reaksi oksidasi. Selain potensinya sebagai obat antikanker, isoflavon dapat berfungsi serupa dengan hormon estrogen. Ketika kadar estrogen rendah, isoflavon dapat berinteraksi dengan reseptor estrogen untuk menghasilkan ligan yang merangsang fungsi reseptor; namun, ketika kadar estrogen tinggi, fungsi reseptor terhambat (Moradi *et al.*, 2020).

Pemberian isoflavon dengan dosis 2 mg/200 g bb diyakini memiliki dampak hipokolesterolemik, menurunkan kadar trigliserida, menaikkan kadar HDL, dan menurunkan kadar glukosa pada keadaan hiperglikemia. Berat badan menentukan berapa banyak isoflavon yang dibutuhkan tubuh per hari, yaitu 0,44 mg/kg berat badan. Menurut temuan uji klinis pada manusia, mengonsumsi 102 mg kedelai setiap hari dapat menurunkan LDL hingga 4,98% dan meningkatkan

HDL hingga 3,00%. Kacang kedelai juga dapat menurunkan tekanan darah sistolik dan diastolik wanita hipertensi masing-masing hingga 9,9% dan 6,8% (Wang *et al.*, 2022).

Karena sifatnya yang adaptif, isoflavon aman untuk dikonsumsi. Karena isoflavon dapat mengikat reseptor estrogen di tulang, meningkatkan penyerapan nutrisi dan memperkuat matriks tulang, kualitas estrogeniknya juga memiliki dampak anti-osteoporosis. Selain itu, isoflavon membantu dinding arteri darah berfungsi lebih baik sehingga aterosklerosis tidak dapat dengan mudah mendekatinya, mencegah pembentukan aterosklerosis, yang dapat menyebabkan penyakit jantung koroner. Metabolisme energi juga dipengaruhi oleh ligan dan isoflavon. Hal ini dibuktikan dengan fakta bahwa mengonsumsi makanan yang kaya fitoestrogen dapat membantu penderita diabetes dan obesitas (Lee *et al.*, 2021).

## **2.6 Pemuliaan Mutasi Tanaman**

Proses menggabungkan keragaman genetik suatu populasi tanaman atau individu untuk menghasilkan sifat-sifat yang memenuhi tujuan yang telah ditentukan dikenal sebagai pemuliaan tanaman. Metode induksi mutasi merupakan salah satu metode untuk mengubah susunan genetik tanaman. Induksi mutasi dalam pemuliaan tanaman merupakan strategi yang berhasil untuk meningkatkan varietas dan memperkaya plasma nutfah yang ada. Mutasi adalah perubahan acak pada materi genetik yang dapat memengaruhi satu gen, beberapa gen, atau susunan kromosom. Perubahan dalam urutan nukleotida DNA kromosom menyebabkan mutasi, yang pada gilirannya mengubah protein yang dibuat. Mutasi pada sel generatif dapat diwariskan ke generasi berikutnya, sedangkan mutasi pada sel somatik hanya memengaruhi bagian itu dan tidak diwariskan (Makhziah dkk., 2017). Mutagen adalah zat atau agen yang

menyebabkan mutasi. Mutagen kimia dan fisik adalah dua kategori yang termasuk dalam mutagen. Mutagen fisik meliputi radiasi pengion, yang meliputi proton, neutron, sinar Gamma, sinar-X, serta partikel alfa dan beta. Mutagen kimia meliputi bahan kimia alkil (agen pengalkilasi) seperti metil metana sulfonat (MMS), dietil sulfat (dES), dan etil metana sulfonat (EMS). Karena efektivitasnya dalam meningkatkan keragaman, sinar Gamma mutagen fisik yang sering digunakan dalam pemuliaan tanaman (Lilik & Yulidar, 2015).

Pemuliaan mutasi melibatkan prosedur pemuliaan tanaman secara acak. Maka dari itu, bahan induk yang dipilih harus akurat dan berorientasi pada tujuan, menggunakan dosis radiasi yang tepat sebelum mengidentifikasi satu atau dua sifat yang perlu ditingkatkan sebagai target utama. Mutan yang dihasilkan dalam pemuliaan tanaman dapat langsung digunakan sebagai varietas atau harus terlebih dahulu menjalani persilangan balik dengan varietas asli, persilangan antar mutan, atau persilangan dengan varietas lain untuk menjadi varietas (Sobrizal, 2016).

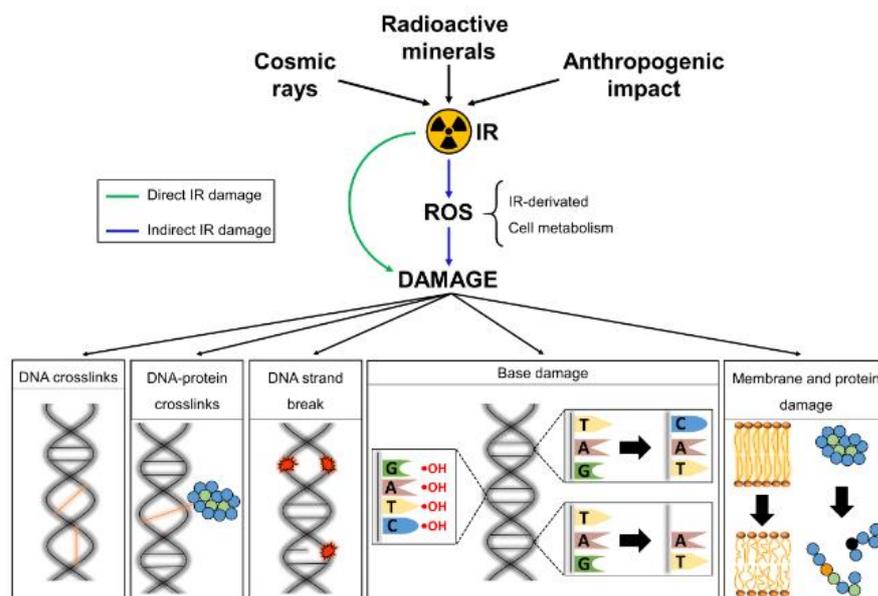
### **2.7 Efek Iradiasi Sinar Gamma Terhadap Genetik Kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill)**

Menurut Feng *et al* (2023), sinar gamma merupakan radiasi pengion dengan panjang gelombang lebih pendek (10-0,01 nm) yang memiliki energi lebih besar dan menembus jaringan target lebih efektif daripada sinar  $\alpha$ ,  $\beta$ , dan X. Sinar gamma yang paling sering digunakan meliputi cobalt-60, caesium-137, technetium-990, dan americium-241. Sinar gamma yang dipancarkan oleh cobalt-60 ( $^{60}\text{Co}$ ) memiliki dua spektrum energi penyinaran sebesar 1,17 MeV dan 1,33 MeV, yang lebih tinggi daripada caesium-137 ( $^{137}\text{Cs}$ ), yang sinar gammanya memiliki energi penyinaran sebesar 0,66 MeV (Mba & Shu, 2011).

Sinar gamma merupakan mutagen acak (Lestari, 2016) yang mengakibatkan terjadinya variasi sifat morfologi, anatomi, biokimia, dan fisiologi tanaman. Iradiasi ionisasi dapat terjadi secara langsung maupun tidak langsung. Iradiasi ionisasi terjadi secara langsung dengan melepaskan elektron ke struktur ikatan kimia rantai DNA sehingga mengakibatkan degradasi DNA di dalam nukleus. Secara tidak langsung, iradiasi ionisasi menyebabkan terurainya molekul air menjadi ion  $H^+$  dan  $OH^-$  yang mengakibatkan degradasi jaringan di dalam mitokondria dan nukleus (Mohsen *et al.*, 2023).

Sinar gamma dapat menyebabkan mutasi gen selama sintesis protein, yang mempengaruhi karakteristik anatomi dan morfologi. Tahapan transkripsi dan translasi akan mengalami aberasi (degradasi), yaitu delesi karena tidak adanya segmen kromosom akibat fraktur atau kehilangan yang disebabkan oleh dosis iradiasi yang tinggi. Akibatnya, fragmen akan kehilangan gen tertentu yang bertanggung jawab untuk mengkode protein. Protein fungsional akan menghasilkan enzim yang memfasilitasi reaksi biokimia dan berkontribusi pada pengembangan sifat, karakteristik, dan ciri tanaman, yang mengarah pada munculnya tanaman mutan (Azzam *et al.*, 2012; Campbell & Jane, 2008).

Iradiasi pengion menyebabkan degradasi pada DNA, yang meliputi degradasi basa, putusnya untai, putusnya untai DNA, dan ikatan silang antara DNA dan protein. Paparan cahaya menghasilkan oksigen aktif, yang menyebabkan terbentuknya radikal bebas yang mengubah transkrip gen (Wang *et al.*, 2020). Akibatnya, mutan yang dihasilkan mengekspresikan gen yang berbeda dari induknya (Duarte *et al.*, 2023).



**Gambar 2.13 Efek Iradiasi Ionisasi (Dutarte *et al.*, 2023)**

Eksitasi (elektron berpindah dari orbit terdalam ke orbit terluar), ionisasi (satu elektron dilepaskan), dan perubahan kimia merupakan hasil mutasi radiasi yang menggunakan radiasi pengion (sinar Gamma). Ionisasi adalah pemecahan senyawa kompleks atau makromolekul menjadi fraksi radikal bebas atau ion, sedangkan eksitasi terjadi ketika energi eksitasi lebih besar daripada energi pengikatan atom. Eksitasi, ionisasi, dan reaksi kimia yang terjadi di dalam sel hidup mengakibatkan perubahan kimia yang dapat menghambat sintesis DNA, menghambat pembelahan sel atau proses kehidupan sel yang teratur, dan menghasilkan efek biologis. Radiasi dapat memberikan dampak langsung maupun tidak langsung terhadap sistem biologis. Dampak langsung terjadi ketika foton mengenai inti atom molekul DNA atau bagian penting lainnya dan diserap untuk menghasilkan elektron, yang pada gilirannya memutus ikatan rantai dalam DNA dan menghambat kapasitas sel untuk bertahan hidup dan bereproduksi. Di sisi lain, dampak tidak langsung terjadi ketika foton mengenai molekul air, yang

merupakan blok pembangun utama sel, sehingga menyebabkan ionisasi (Wang *et al.*, 2020).

Interaksi radiasi dengan radikal bebas dapat mengakibatkan degradasi sel lebih lanjut, yang pada akhirnya memiliki dampak biologis yang nyata. Tingkat keparahannya meningkat seiring dengan jumlah radiasi yang diterima. Tanaman menjadi lebih sensitif karena radikal bebas terbentuk dalam jumlah yang lebih besar ketika molekul oksigen dan air (H<sub>2</sub>O) hadir dalam bahan yang diradiasi. Radikal bebas yang terbentuk pada tanaman akibat iradiasi sinar Gamma akan berfungsi sebagai sinyal stres dan memicu respons stres pada tanaman, yang dapat mengakibatkan modifikasi pada struktur kimia tanaman. Radikal bebas reaktif dapat mengubah kimia dan membahayakan beberapa bagian organisme hidup, termasuk protein, gugus tiol non-protein, lipid, karbohidrat, dan nukleotida, bergantung pada dosis iradiasi yang diberikan (Nobre *et al.*, 2022)

## **2.8 Metode *Kjeldahl***

Teknik sederhana untuk mengetahui total nitrogen dalam protein, asam amino, dan zat yang mengandung nitrogen adalah metode *Kjeldahl*. Metode *Kjeldahl* berfungsi dengan baik untuk mengetahui berapa banyak protein yang tidak larut atau telah menggumpal akibat pemanasan atau prosedur pengolahan makanan lainnya. Karena kandungan nitrogen adalah zat kimia yang diperiksa, pendekatan ini digunakan untuk secara tidak langsung menentukan jumlah protein kasar dalam makanan. Kandungan protein makanan dihitung dengan mengalikan temuan analisis dengan faktor konversi 6,25. Kadar protein yang diperoleh langsung menggunakan metode *Kjeldahl* disebut kadar protein kasar karena metode ini memiliki keterbatasan yaitu akan menentukan keberadaan bahan kimia

lain yang bukan protein yang mengandung N. Metode *Kjeldahl* dilakukan dengan beberapa tahapan, yaitu (Goyal *et al.*, 2022):

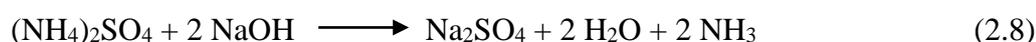
Tahapan destruksi, sampel dipanaskan dengan asam sulfat pekat untuk memecahnya menjadi unsur-unsur penyusunnya. Semua nitrogen organik diubah menjadi nitrogen anorganik, khususnya unsur nitrogen akan menjadi amonium sulfat  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  dan unsur karbon (C) akan teroksidasi menjadi karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan hidrogen (H) akan teroksidasi menjadi air ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Penambahan katalis mempercepat proses penghancuran. Untuk mempercepat proses penghancuran, katalis seperti kalium sulfat ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) dan tembaga (II) sulfat ( $\text{CuSO}_4$ ) akan menaikkan titik didih asam sulfat. Kisaran suhu untuk penghancuran adalah antara  $370^\circ\text{C}$  dan  $410^\circ\text{C}$ . Ketika larutan berubah menjadi hijau bening, proses penghancuran telah selesai.

Reaksi yang terjadi pada proses destruksi adalah:



Pada tahap destilasi, amonium sulfat  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  yang dihasilkan selama tahap penghancuran kini diubah menjadi amonia ( $\text{NH}_3$ ) dengan memanaskan dan menambahkan NaOH hingga menjadi basa. Larutan asam normal kemudian akan menyerap amonia yang dipancarkan. Asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) adalah larutan asam yang umum digunakan. Ketika semua amonia telah disuling dengan sempurna—seperti yang terlihat dari distilat yang tidak berinteraksi dengan basa—distilasi selesai.

Reaksi yang terjadi pada tahap destilasi yaitu:



Pada tahap titrasi, asam sulfat berlebih digunakan sebagai wadah distilat, dan indikator mesel digunakan untuk mentitrasi asam sulfat yang tersisa yang tidak bereaksi dengan amonia menggunakan NaOH 0,02 N. Perubahan warna dari ungu ke hijau menunjukkan titik akhir titrasi.

Reaksi yang terjadi pada tahap titrasi yaitu:



## 2.9 Metode Gravimetri

Teknik pengukuran bahan kimia analit menggunakan gravitasi bumi disebut gravimetri. Salah satu komponen utama kimia analitik adalah gravimetri. Pengukuran berat merupakan langkah pengukuran dalam pendekatan gravimetri. Analit dan pelarutnya dipisahkan secara fisik dari unsur-unsur lain dalam sampel. Salah satu metode populer untuk memisahkan analit dari interferensi adalah presipitasi; penguapan pelarut merupakan metode penting lainnya. Terdapat beberapa persyaratan agar metode gravimetri dapat berhasil, diantaranya adalah untuk menentukan komponen utama sampel makro, proses pemisahan harus cukup menyeluruh sehingga jumlah analit yang tidak mengendap tidak dapat dibedakan secara analitis (seringkali 0,1 mg atau kurang). Bahan yang ditimbang harus murni dan memiliki komposisi tertentu. Lebih sulit bagi analisis untuk memenuhi kondisi kedua. Biasanya, kesalahan yang disebabkan oleh unsur-unsur seperti kelarutan endapan dapat diminimalkan (Humaish *et al.*, 2020).

## 2.10 Spektrofotometri UV-Vis

### 2.10.1 Definisi Spektrofotometri UV-Vis

Spektrofotometri UV-Vis merupakan metode analisis yang menggunakan panjang gelombang cahaya tampak dan ultraviolet untuk mendeteksi bahan kimia berdasarkan tempat penyerapan cahaya. Secara umum, zat dengan gugus

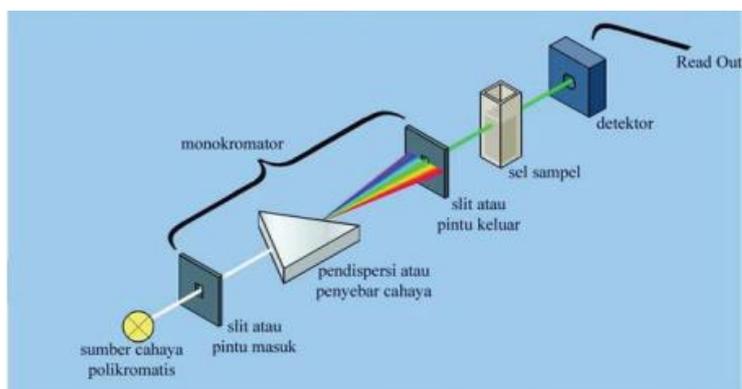
auksokrom dan kromofor dapat dideteksi dalam Spektrofotometri UV-Vis. Dibandingkan dengan teknik analisis lainnya, proses pengujian metode ini biasanya lebih cepat dan lebih efektif (Handoyo *et al.*, 2020).

### 2.10.2 Tipe-tipe Spektrofotometer UV-Vis

Secara umum terdapat dua tipe spektrofotometer UV-Vis, yaitu *single-beam* dan *double-beam*.

#### a. *Single-beam*

Absorbansi pada panjang gelombang tertentu dapat diukur secara kuantitatif. Di antara sekian banyak manfaat instrumen *single-beam* adalah keterjangkauannya, kemudahan penggunaan, dan kemampuannya untuk memangkas biaya. Instrumen *single-beam* untuk mengukur cahaya tampak dan ultraviolet diproduksi oleh perangkat tertentu. Panjang gelombang berkisar antara 190 hingga 210 nm pada titik terendah hingga 800 hingga 1000 nm pada titik tertinggi (Pratiwi & Nandiyanto, 2022).

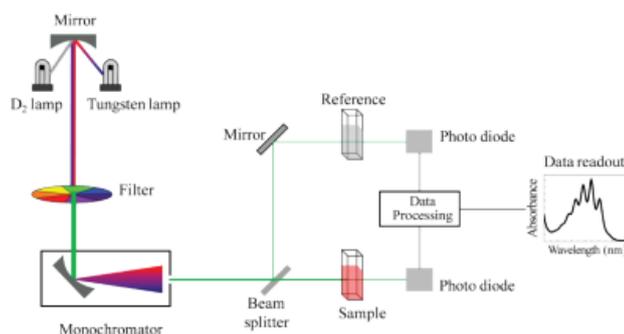


**Gambar 2. 12 Diagram spektrofotometer UV-Vis (single-beam) (Suhartati, 2017)**

#### b. *Double-beam*

Pemisah berkas adalah potongan cermin berbentuk V yang menciptakan dua berkas untuk spektrofotometer UV-Vis *double-beam*. Sementara berkas kedua

bergerak bersamaan melalui sampel, berkas pertama melewati larutan blanko. Sumber cahaya polikromatik menggunakan lampu tungsten untuk cahaya tampak dan lampu deuterium untuk sinar UV. Sel sampel berbentuk kuvet kaca atau kuarsa dengan diameter berbeda. Detektor foto, yang merupakan jenis detektor, mengubah cahaya yang ditransmisikan dari sampel menjadi arus listrik (Pratiwi & Nandiyanto, 2022).



**Gambar 2. 13 Diagram spektrofotometer UV-Vis (*double-beam*) (Pratiwi & Nandiyanto, 2022)**

### 2.10.3 Prinsip Kerja Spektrofotometer UV-Vis

Sumber cahaya diperlukan untuk spektrofotometer. Lampu tungsten merupakan sumber yang paling banyak digunakan dalam spektroskopi serapan. Tegangan lampu menentukan arus cahaya. Saat memindai antara rentang cahaya tampak dan ultraviolet, bohlam dapat dinyalakan secara otomatis, dan instrumen yang sama dapat menggunakan beberapa jenis sumber cahaya. Sumber cahaya atau lampu sebenarnya adalah dua lampu independen yang, jika digabungkan, dapat menerangi seluruh spektrum cahaya tampak dan ultraviolet. Ia menggunakan bohlam tungsten untuk cahaya tampak. Logam tungsten digunakan untuk membuat lampu ini. Lampu tungsten cocok untuk kolorimetri karena memancarkan cahaya dengan panjang gelombang antara 350 dan 2000 nm.

Lampu deuterium digunakan untuk zat yang menyerap spektrum ultraviolet. Inti atom deuterium, sebuah isotop hidrogen, mengandung satu neutron ekstra dibanding hidrogen biasa. Digunakan untuk semua spektroskopi di spektrum ultraviolet, lampu deuterium adalah sumber energi tinggi yang memancarkan cahaya dengan panjang gelombang antara 200 dan 370 nm (Akash *et al.*, 2020).

Untuk menciptakan sumber cahaya monokromatik, monokromator digunakan. Instrumen tersebut dapat berupa kisi atau prisma untuk memfokuskan cahaya monokromatik yang diinginkan dari hasil dekomposisi. Ketika sumber radiasi melepaskan radiasi polikromatik, monokromator mengubahnya menjadi radiasi monokromatik. Salah satu permukaan datar atau cekung perangkat monokromator mendistribusikan cahaya yang dilepaskan oleh sumber cahaya. Peralatan ini memungkinkan untuk memperoleh spektrum emisi, yang menghasilkan interval cahaya terbatas. Dengan memutar kisi, panjang gelombang—atau lebih tepatnya, lebar pita spektrum, yang sesuai dengan lebar celah—dapat diubah secara bertahap. Resolusi terbaik akan diperoleh melalui jalur optik dengan panjang fokus besar (0,2 hingga 0,5 m) (Shi *et al.*, 2022).

Cahaya dengan panjang gelombang tunggal, atau cahaya monokromatik, diperlukan untuk sebagian besar pengukuran kuantitatif. Cahaya polikromatik, atau cahaya dengan beberapa panjang gelombang, dikirim melalui monokromator untuk mencapai tujuan ini. Spektrofotometer modern dilengkapi dengan dua jenis monokromator yang berbeda: kisi difraksi dan prisma. Pelat kuarsa yang membiaskan, atau membelokkan, cahaya disebut prisma. Cahaya putih dapat dibagi menjadi beberapa warna menggunakan prisma karena jumlah pembiasan bergantung pada panjang gelombang cahaya. Panjang gelombang yang tepat yang

diperlukan untuk pengujian kemudian dipilih dengan memutar prisma. Ketika sinar matahari dipecah menjadi tujuh warna penyusunnya—merah, jingga, kuning, hijau, biru, nila, dan ungu—oleh pembiasan tetesan air hujan, hasilnya sama dengan terbentuknya pelangi (Akash *et al.*, 2020).

Sepotong kecil kaca cermin yang disebut kisi difraksi dipotong dengan ribuan garis yang berjarak tepat per milimeter kisi, sehingga menciptakan tampilan sisir kecil. Kisi tersebut memisahkan berkas cahaya monokromatik menjadi panjang gelombang individualnya dengan memisahkan garis-garis yang kira-kira sebanding dengan panjang gelombang cahaya. Panjang gelombang yang diinginkan untuk pengujian kemudian dipilih dengan memutar kisi (Shi *et al.*, 2022).

Tugas detektor penerima adalah merespons berbagai panjang gelombang cahaya. Seperti detektor saluran tunggal pada umumnya, detektor mengubah intensitas cahaya menjadi sinyal listrik. Tabung pengganda foto dan semikonduktor (juga dikenal sebagai fotodiode silikon atau perangkat transfer muatan) adalah dua jenis detektor yang sering digunakan. Bergantung pada panjang gelombang yang dideteksi, keduanya memiliki sensitivitas yang baik. Detektor mengukur setiap penurunan intensitas yang disebabkan oleh penyerapan setelah cahaya melewati sampel. Biasanya, detektor adalah komponen elektronik yang dikenal sebagai tabung pengganda foton, yang berfungsi sebagai penguat untuk meningkatkan kekuatan sinyal dan konverter untuk mengubah intensitas sinar cahaya menjadi sinyal listrik yang mudah diukur. Setelah memasuki tabung, cahaya mengenai katode, melepaskan elektron yang tertarik ke anoda. Sebagian elektron yang dilepaskan saat mengenai anoda ini ditarik ke anoda di atasnya, di

mana proses tersebut diulang. Sinyal diperkuat dan aliran elektron tercipta dengan cara ini (Akash *et al.*, 2020).

Sinyal listrik bergerak ke perekam untuk menunjukkan spektrum serapannya setelah keluar dari tabung pengganda foto. Data dalam jumlah besar dapat disimpan karena sebagian besar spektrofotometer masa kini terhubung dengan komputer. Kalibrasi spektrofotometer UV-Vis: Monograf farmakope biasanya menggunakan nilai standar untuk menentukan konsentrasi obat dalam suatu formulasi. Spektrofotometer pengukuran perlu dikalibrasi dengan benar sesuai skala panjang gelombang dan absorbansi. Demikian pula, saat mengkalibrasi instrumen, resolusi spektrum dan keberadaan cahaya liar (radiasi bengkel) diperiksa (Shi *et al.*, 2022).

Larutan kimia dipaparkan pada foton dengan panjang gelombang antara 200 dan 800 nm menggunakan prinsip spektrofotometri UV-Vis. Sebagian energi yang mengalir melalui larutan diserap oleh elektron yang tereksitasi dalam ikatan molekul, yang bergerak ke status kuantum yang lebih tinggi. Semakin panjang panjang gelombang (energi yang lebih rendah) dari radiasi yang diterima, semakin longgar elektron yang tertahan dalam ikatan molekul (Guo *et al.*, 2020).

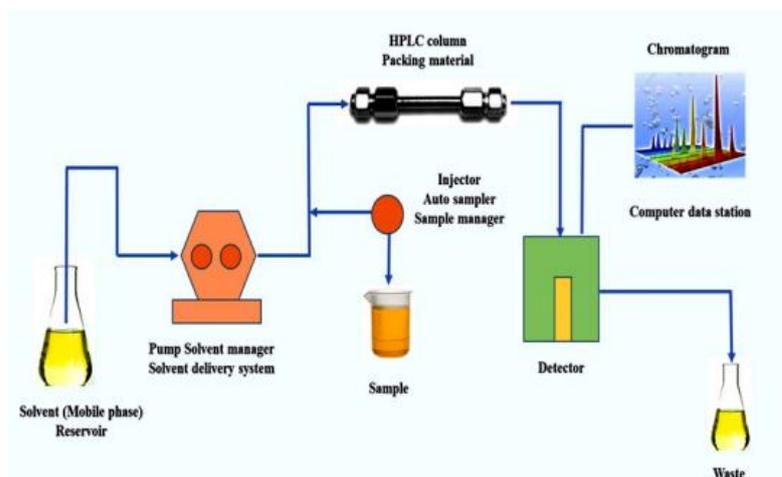
### **2.11 High Performance Liquid Chromatography (HPLC)**

Kromatografi Cair Kinerja Tinggi, atau disingkat HPLC, adalah teknik analisis yang sering digunakan untuk memisahkan bahan kimia secara kualitatif, kuantitatif, dan untuk pemisahan/isolasi dan pemurnian. Kromatografi Cair Kinerja Tinggi (HPLC) dipilih karena tingkat selektivitasnya yang tinggi, ukuran sampel yang relatif kecil, dan sensitivitas yang lebih tinggi daripada metode (Kromatografi Lapis Tipis) KLT untuk menganalisis senyawa dengan konsentrasi

yang sangat rendah. Di antara manfaat HPLC adalah akurasi dan sensitivitasnya yang lebih tinggi (Revelliani *et al.*, 2022).

HPLC merupakan bagian dari kromatografi kolom, yaitu metode yang menggunakan fase diam dan fase gerak untuk memisahkan campuran senyawa. Perbedaan dalam kelarutan, kapasitas penyerapan, partisi, ukuran molekul dan ion, serta tekanan uap dari masing-masing komponen fase menyebabkan terjadinya pemisahan. Dalam HPLC, terdapat dua jenis kromatografi partisi: kromatografi fase normal dan kromatografi fase terbalik (Khairun *et al.*, 2021). Ide dasar di balik HPLC adalah bahwa molekul analit akan mengalir melalui celah berpori fase stasioner, yang memungkinkan analit dipisahkan menurut polaritasnya. Untuk meningkatkan laju dan efektivitas pemisahan, tekanan tinggi digunakan dalam HPLC untuk memaksa fase bergerak ke dalam kolom (Hudaya *et al.*, 2022).

### 2.11.1 Komponen HPLC



Gambar 2. 14 Skema Kerja Instrumen HPLC (Bhati *et al.*, 2022)

#### 2.11.1.1 Pompa (*Pomp*)

Pompa yang memenuhi spesifikasi yang sama dengan wadah pelarut—yaitu, harus inert terhadap fase bergerak—cocok untuk HPLC. Kaca, safir, Teflon,

dan baja tahan karat sering digunakan sebagai material untuk pompa. Fase bergerak harus mengalir pada kecepatan 3 mililiter per menit dan pompa harus mampu memberikan tekanan hingga 5000 psi. Fase bergerak harus mengalir melalui pompa pada kecepatan 20 mililiter per menit untuk keperluan persiapan (Moldoveanu & David, 2022).

Untuk menjamin bahwa proses penghantaran fase gerak terjadi secara akurat, konsisten, dapat direproduksi, dan tanpa gangguan, digunakan pompa atau sistem penghantaran fase gerak. Dalam HPLC, terdapat dua jenis pompa yang berbeda: satu yang memiliki kecepatan tetap dan yang lainnya yang memiliki aliran fase gerak yang tetap. Hingga saat ini, jenis pompa dengan aliran fase gerak yang konstan lebih sering digunakan daripada jenis dengan tekanan konstan (Moldoveanu & David, 2022).

#### **2.11.1.2 Injektor (*Injector*)**

Proses HPLC dapat memanfaatkan tiga jenis injektor mendasar, yaitu sebagai berikut: Stop-Flow: Sampel disuntikkan langsung ke ujung kolom setelah aliran pelarut dihentikan sementara dan konektor di ujung kolom dibuka. Pelarut mengalir lagi setelah kolom dihubungkan. Septum: Septum yang digunakan dalam kromatografi gas dan HPLC identik. Hingga 60 hingga 70 atmosfer dapat digunakan dengan injektor ini. Meskipun demikian, tidak semua pelarut kromatografi cair dapat menembus septum ini. Penyumbatan dapat terjadi akibat partikel kecil dari septum yang pecah (disebabkan oleh jarum injektor).

Katup Loop: Jenis injektor ini biasanya digunakan untuk menyuntikkan volume lebih dari 10  $\mu$  secara otomatis, sementara volume yang lebih kecil dapat disuntikkan secara manual dengan adaptor yang tepat. Jenis injektor yang paling

populer adalah yang ini. Berikut ini perlu diikuti untuk memasukkan sampel ke dalam aliran fase bergerak: Setelah menyuntikkan sejumlah volume sampel ke dalam loop pada posisi "Muat", sampel tetap berada di dalam loop hingga keran diputar untuk mengalihkan posisi "Muat" ke posisi "Injeksi", di mana sampel dibawa ke dalam kolom oleh fase bergerak. Loop dapat dipertukarkan dan tersedia dalam beberapa ukuran volume mulai dari 5  $\mu\text{L}$  hingga 500  $\mu\text{L}$ . Loop juga tersedia dalam ukuran mikro, yang memiliki volume 0,5  $\mu\text{L}$  hingga 5  $\mu\text{L}$ . Sampel dapat dimasukkan secara akurat dengan alat pemasukan sampel ini pada tekanan 7000 psi (Moldoveanu & David, 2022).

#### **2.11.1.3 Kolom (*Column*)**

Material yang paling umum untuk kolom HPLC adalah baja tahan karat dan kaca berdinding tebal. Fase diam, yang memisahkan campuran menjadi bagian-bagian penyusunnya, terdapat di kolom utama. Kolom ini juga disebut sebagai kolom pengaman selain kolom primer. Berbeda dengan kolom kromatografi gas, dimensi kolom utama untuk HPLC biasanya antara 5 dan 30 cm panjangnya dan 4 dan 10 mm diameter dalam. Sistem pemasukan sampel berada sebelum kolom utama dalam HPLC (Moldoveanu & David 2022).

Kolom pengaman Karena kolom pengaman diposisikan sebelum sistem pemasukan sampel, kolom ini juga dikenal sebagai kolom pra. Dengan diameter 4,6 mm dan panjang 5 cm, kolom ini biasanya diisi dengan partikel silika yang lebih besar daripada partikel di kolom utama. Menyaring kontaminan yang diangkut dalam fase stasioner dan menjenuhkan fase stasioner untuk mencegah erosi oleh aliran pelarut adalah dua tujuan kolom pengaman. Akibatnya, degradasi yang merugikan pada kolom utama dapat dicegah (Moldoveanu & David, 2022).

#### **2.11.1.4 Detektor (*Detector*)**

Dalam HPLC, detektor dibagi menjadi dua kategori: detektor universal, yang dapat mengidentifikasi zat secara umum tetapi tidak selektif atau spesifik, seperti spektrofotometri massa dan detektor indeks bias, dan kelompok detektor spesifik, yang hanya dapat mengidentifikasi analit secara selektif dan spesifik, seperti detektor UV-Vis, fluoresensi, dan elektrokimia (Moldoveanu & David, 2022).

Detektor harus memenuhi sejumlah kondisi diantaranya adalah sangat sensitif, kemampuan pengulangan dan stabilitas yang sangat baik, reaksi linear zat terlarut, waktu reaksi cepat, sehingga laju alir tidak menjadi factor, dan mudah digunakan dan tidak merusak sampel.

#### **2.11.1.5 Elusi Gradien**

Penambahan kekuatan fase bergerak selama analisis kromatografi dikenal sebagai elusi gradien. Senyawa yang dipertahankan dengan kuat pada kolom memiliki waktu retensi yang lebih pendek berkat elusi gradien (Moldoveanu & David, 2022).

Elusi gradien memiliki beberapa keunggulan, diantaranya adalah waktu analisis dapat dikurangi secara keseluruhan, setiap bahan kimia dalam campuran memiliki resolusi yang lebih tinggi per satuan waktu, ketajaman *peak* meningkat (penghilangan tailing), perubahan kecil pada *peak* menyebabkan efek sensitivitas meningkat.

#### **2.11.1.6 Fase Gerak**

Campuran pelarut yang dapat bercampur sering kali membentuk fase gerak, yang juga dikenal sebagai eluen, yang bersama-sama meningkatkan daya

elusi dan resolusi. Polaritas pelarut secara keseluruhan, polaritas fase stasioner, dan susunan komponen penyusun sampel semuanya memengaruhi daya elusi dan resolusi. Daya elusi meningkat seiring dengan meningkatnya polaritas pelarut dalam HPLC fase normal, ketika fase stasioner lebih polar daripada fase gerak. Daya elusi menurun seiring dengan meningkatnya polaritas pelarut dalam HPLC fase terbalik, ketika fase stasioner kurang polar daripada fase gerak (Moldoveanu & David, 2022).

Standar berikut digunakan untuk memilih fase gerak diantaranya adalah viskositas: pada laju alir tertentu, pelarut dengan viskositas rendah menghasilkan tekanan yang lebih rendah daripada pelarut dengan viskositas tinggi. Karena perpindahan massa terjadi lebih cepat dengan viskositas yang lebih rendah, kromatografi juga dapat berlangsung lebih cepat. Transparansi UV: Fase bergerak harus benar-benar transparan pada panjang gelombang yang dipilih jika detektor UV akan digunakan. Misalnya, etil asetat tidak sepenuhnya bening hingga 275 nm (kurang dari 10% serapan), sehingga tidak cocok untuk dideteksi pada 254 nm. Transparansi reagen pasangan ion, garam penyangga, dan penambahan lainnya juga perlu diperhitungkan.

Indeks bias: hal ini hanya penting jika menggunakan detektor indeks bias. Jika kita bekerja dengan batas deteksi tertentu, pasti ada perbedaan signifikan dalam indeks bias pelarut dan sampel. Titik didih: Jika eluat akan diolah lebih lanjut untuk membantu penguapannya, fase bergerak harus memiliki titik didih rendah. Pelarut bertekanan uap tinggi, yang memiliki titik didih tinggi pada suhu ruangan, cenderung menghasilkan gelembung uap di detektor. Kemurnian: tergantung pada tujuan penggunaannya, kriteria ini dapat berarti banyak hal. Misalnya, tidak

adanya senyawa yang menghambat elusi gradien, tidak adanya senyawa yang menghambat metode deteksi, atau tidak adanya residu yang tidak mudah menguap dalam kasus pemisahan preparatif merupakan contoh kemurnian.

Fase bergerak tidak boleh bereaksi dengan campuran sampel dengan cara apapun, sehingga menjadi inert terhadap komponen sampel. Zat antioksidan seperti BHT, pada konsentrasi 0,05%, dapat ditambahkan ke fase bergerak jika sampel yang dianalisis sangat sensitif terhadap oksidasi. BHT menyerap di area UV di bawah 285 nm, namun dapat dengan cepat diekstraksi dari eluen melalui penguapan. Toksisitas: Seorang analis harus berusaha menghindari penggunaan produk yang beracun. Gas fosgen, yang sangat beracun, dapat dilepaskan oleh pelarut terklorinasi. Benzena yang bersifat karsinogenik harus menggantikan peran toluena.

#### **2.11.1.7 Fase Diam**

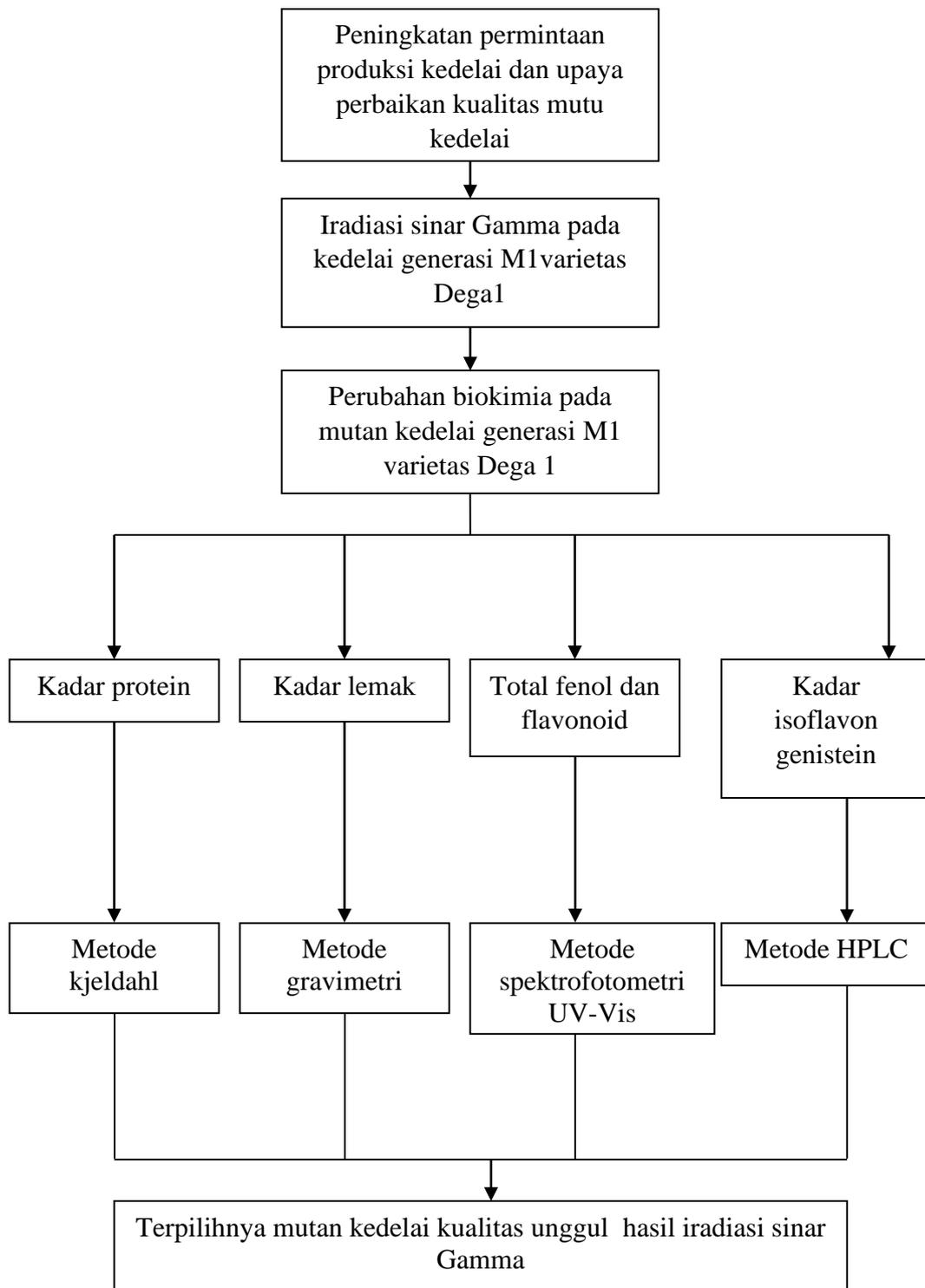
Polimer stirena dan divinilbenzena, silika yang dimodifikasi secara kimia, dan silika yang tidak dimodifikasi merupakan mayoritas fase stasioner dalam HPLC. Karena gugus silanol (Si-OH) masih ada, permukaan silika bersifat polar dan sedikit asam. Reagen seperti klorosilana dapat digunakan untuk mengubah silika secara kimia. Karena dapat memisahkan zat dengan polaritas rendah, sedang, dan tinggi, oktadesil silika (ODS atau C18) merupakan fase stasioner yang paling umum digunakan (Moldoveanu & David, 2022).

#### **2.12 Kerangka Konseptual**

Berdasarkan kerangka konseptual gambar 2.17, terdapat peningkatan permintaan produksi kedelai menurut data dari BPS (2023). Upaya pemerintah Indonesia dalam peningkatan produksi kedelai agar mampu mencapai swasembada kedelai adalah melalui ekstensifikasi dan intensifikasi dalam

pemuliaan tanaman. Satu di antara program pemuliaan tanaman untuk peningkatan produksi kedelai adalah melalui rekayasa genetik berupa mutasi atau perubahan genetik dengan iradiasi sinar Gamma. Iradiasi merupakan penyinaran suatu objek dengan radiasi buatan seperti sinar Gamma (Kroll *et al.*, 2022). Pemuliaan tanaman dengan sinar Gamma dipilih karena tingkat keberhasilan mutan yang tinggi, sekitar 60% di antaranya berhasil (Nakagawa & Nato, 2017).

Iradiasi sinar Gamma merupakan perlakuan yang diberikan pada biji kedelai varietas Dega 1 untuk menghasilkan mutan generasi M1. Perubahan genetik akibat dari iradiasi sinar Gamma akan memengaruhi biokimia mutan kedelai generasi M1 varietas Dega 1, seperti kadar nutrisi (protein dan lemak) dan metabolit sekunder (total fenol, flavonoid, dan isoflavon genistein). Adapun analisis pengujian kadar protein dilakukan dengan metode kjeldahl, pengujian kadar lemak dilakukan dengan metode gravimetri, pengujian total fenol dan flavonoid dilakukan dengan metode spektrofotometri UV-Vis, dan untuk pengujian kadar isoflavon genistein dilakukan dengan metode (*High Performance Liquid Chromatography*) HPLC. Setelah dilakukan pengujian kadar nutrisi dan metabolit sekunder, diharapkan terdapat peningkatan kualitas biji kedelai hasil iradiasi sinar Gamma dibandingkan dengan non mutan. Hal ini karena adanya kebutuhan akan varietas unggul yang tidak hanya memiliki potensi hasil tinggi tetapi juga memenuhi standar nutrisi.



**Gambar 2.17 Kerangka Konseptual**

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Rancangan Penelitian**

Penelitian ini termasuk jenis penelitian eksperimental untuk mengetahui pengaruh iradiasi sinar Gamma terhadap kandungan protein, kadar lemak, total fenol, flavonoid, dan isoflavon genistein mutan kedelai generasi M1 varietas Dega 1. Biji kedelai yang telah dipanen dari BSIP dibedakan sesuai perlakuan dosis. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan 3 taraf perlakuan dan 4 ulangan, sehingga unit percobaan sebanyak 12 unit dengan 600 tanaman. Berikut ini adalah pembagian perlakuan dosis sinar Gamma:

1. P0 = Kontrol (0 Gy)
2. P1 = 200 Gy
3. P2 = 400 Gy

Adapun denah percobaan dapat dilihat pada Tabel 3.1 sebagai berikut:

**Tabel 3. 1 Denah Percobaan**

<b>Ulangan 1</b>	<b>Ulangan 2</b>	<b>Ulangan 3</b>	<b>Ulangan 4</b>
P1	P2	P0	P2
P0	P0	P2	P1
P2	P1	P1	P0

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

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus 2024 – Januari 2025. Penyinaran radiasi sinar Gamma pada biji kedelai telah dilakukan di Badan Tenaga Atom Nasional (BATAN) Yogyakarta. Penanaman biji mutan kedelai dilakukan di BSIP Kendalpayak, Pakisaji, Kab. Malang. Ekstraksi biji kedelai dilaksanakan di Laboratorium Fisiologi Tumbuhan Program Studi Magister

Biologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang. Analisis kandungan protein dan lemak dilaksanakan di Laboratorium Bioteknologi Kawasan Sains dan Teknologi (KST) Serpong Badan Riset Inovasi Nasional (BRIN) Tangerang. Analisis kandungan total fenol dan flavonoid dilaksanakan di Laboratorium Sentral Universitas Muhammadiyah Malang (UMM). Analisis isoflavon genistein dilaksanakan di Laboratorium Kimia Fakultas Sains dan Matematika Universitas Kristen Satya Wacana Salatiga.

### **3.3 Variabel Penelitian**

Variabel penelitian adalah sebagai berikut:

1. Variabel bebas pada penelitian ini yaitu konsentrasi dosis iradiasi sinar Gamma 0 Gy, 200 Gy, dan 400 Gy.
2. Variabel terikat pada penelitian ini yaitu kandungan protein, lemak, total fenol, flavonoid, dan isoflavon genistein.

### **3.4 Alat dan Bahan**

#### **3.4.1 Alat**

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain blender Miyako, ayakan mesh 100, botol kaca, pipet tetes, labu ukur (*Pyrex*<sup>®</sup>IWAKI), cawan pengaduk, batang pengaduk, gelas ukur (*Pyrex*<sup>®</sup>IWAKI), beaker glass 1000 ml (ISOLAB), corong, aluminium foil, karet gelang, kertas saring, timbangan analitik, tabung Kjeldahl 100 ml (*Pyrex*), labu destilasi (*Pyrex*), erlenmeyer (*Pyrex*), *rotary evaporator* IKA<sup>®</sup>RV10, spektrofotometer UV-Vis (Evolution 60S, Thermo Scientific<sup>®</sup>, Germany), *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) (Merck, Darmstadt, Germany).

### 3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain biji kedelai varietas Dega 1 dari BSIP, etanol 70%, methanol p.a, aquades, larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  7%, reagen *Folin-Ciocalteu*, Aluminium Klorida ( $\text{AlCl}_3$ ) 10%, Natrium Asetat ( $\text{CH}_3\text{COONa}$ ) 1 M, larutan standar kuersetin,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , larutan HCl 0,1 N, kloroform, larutan NaCl 0,9%, isoflavon genistein (Sigma-Aldrich®).

### 3.4 Prosedur Penelitian

#### 3.4.1 Penyinaran iradiasi sinar Gamma cobalt-60

Iradiasi biji kedelai dilakukan di ruang irradiator menggunakan mesin irradiator *gamma chamber* 4000A di (Badan Tenaga Atom Nasional) BATAN Yogyakarta. Biji kedelai dengan perlakuan dosis 0 Gy diiradiasi dengan sinar gamma selama 0 menit. Biji kedelai dengan perlakuan dosis 200 Gy diiradiasi dengan sinar gamma selama 6 menit. Biji kedelai dengan perlakuan dosis 400 Gy diiradiasi dengan sinar gamma selama 10 menit.

#### 3.4.2 Penanaman Benih Kedelai Mutan

Penanaman biji kedelai mutan dilakukan di lahan BSIP Kendalpayak, Pakisaji, Kab. Malang. Satu petak perlakuan berukuran 10 x 10 dengan total benih sebanyak 100 dan setiap perlakuan dibuat 4 kali ulangan. Setelah 35 HST dilakukan pemanenan biji kedelai.

#### 3.4.2 Pengambilan dan Pengolahan Sampel

Polong mutan kedelai varietas Dega 1 dipanen di lahan BSIP Kendalpayak, Pakisaji, Kab. Malang. Kemudian dilakukan penjemuran di bawah sinar matahari. Setelah polong kering diambil biji kedelai dan disortir kelayakan bijinya. Biji yang layak diserbukkan menggunakan blender dan diayak menggunakan saringan mesh 100.

### 3.4.3 Ekstraksi Biji Kedelai dengan Metode Maserasi

Pembuatan ekstrak menggunakan metode maserasi dengan pelarut etanol 70%. Perbandingan pembuatan ekstrak kontrol adalah 1:8. Serbuk biji kedelai ditimbang sebanyak 100 gram, kemudian ditambahkan etanol 70% 800 mL hingga terendam seluruhnya. Perbandingan ekstrak perlakuan 200 Gy adalah 1:5. Serbuk biji kedelai ditimbang sebanyak 50 gram, kemudian ditambahkan etanol 70% 250 mL hingga terendam seluruhnya. Perbandingan ekstrak perlakuan 400 Gy adalah 1:8. Serbuk biji kedelai ditimbang sebanyak 10 gram, kemudian ditambahkan etanol 70% 80 mL hingga terendam seluruhnya. Wadah maserasi ditutup menggunakan aluminium foil dan disimpan selama 2x24 jam pada suhu ruang di tempat yang terhindar dari sinar matahari secara langsung dan selama 6 jam sekali dilakukan pengadukan. Tahap selanjutnya penyaringan, dipisahkan antara residu dan filtratnya menggunakan kertas saring. Dilakukan remaserasi sebanyak 2 kali hingga didapat filtrat bening. Filtrat yang sudah terkumpul kemudian dipekatkan dengan *rotary evaporator* pada suhu 40°C, 50 rpm hingga diperoleh ekstrak kental (Harbone, 2006).

### 3.4.4 Penetapan Kadar Total Fenol dengan Spektrofotometri UV-Vis

Pembuatan larutan ekstrak dilakukan dengan melarutkan sampel sebanyak 10 mg dalam 10 mL etanol 96% sehingga diperoleh konsentrasi 1000 ppm. Penetapan kadar fenolik total dilakukan dengan melarutkan sampel menjadi 1 mL, ditambahkan dengan 0,4 mL reagen *Folin-Ciocalteu*, dikocok serta diinkubasi selama 8 menit. Setelah inkubasi, campuran ditambahkan 4,0 mL larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  7% dan dikocok hingga homogen. Akuades steril ditambahkan ke dalam campuran hingga 10 mL dan didiamkan selama 2 jam pada suhu ruangan. Ukur

serapan pada panjang gelombang maksimum pada 750 nm dan dilakukan secara duplo (Sam, 2016). Kadar fenolik total dalam ekstrak etanol kacang kedelai ditentukan menggunakan rumus berikut :

Berdasarkan penelitian oleh Hasnaeni (2019) analisis data kadar fenolik total dinyatakan sebagai penyetaraan asam galat atau dalam satuan mgGAE/g ekstrak dan dihitung menggunakan rumus berikut:

Kadar fenolik total (mg GAE/g) =

$$\frac{\text{volume larutan (mL)} \times \text{konsentrasi awal (mg/mL)} \times \text{faktor pengenceran}}{\text{berat ekstrak (g)}}$$

### **3.4.5 Penetapan Kadar Flavonoid Total dengan Spektrofotometri UV-Vis**

(Shraim *et al.*, 2021)

#### **3.4.5.1 Pembuatan Larutan Aluminium Klorida (AlCl<sub>3</sub>) 10%**

Alumunium klorida ditimbang 5 gram kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL dilarutkan dengan akuades sampai tanda batas lalu dihomogenkan.

#### **3.4.5.2 Pembuatan Larutan Natrium Asetat (CH<sub>3</sub>COONa) 1 M**

Natrium asetat ditimbang 4,1 gram dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL lalu dilarutkan dengan akuades sampai tanda batas kemudian dihomogenkan.

#### **3.4.5.3 Pembuatan Larutan Blanko**

Dimasukkan larutan blanko terdiri dari campuran methanol p.a 3 mL, aluminium klorida 10% 0.1 mL, dan natrium asetat 1 M 0.1 mL dalam labu ukur 10 mL kemudian ditambahkan akuades hingga tanda batas.

#### **3.4.5.4 Pembuatan Larutan Standar Induk Kuersetin**

Larutan standar kuersetin dibuat dengan konsentrasi 1000 ppm. Kuersetin 0,1 g dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL kemudian ditambahkan metanol p.a

hingga tanda batas. Diencerkan menjadi 100 ppm dengan dipipet 1 mL kuersetin 1000 ppm dilarutkan metanol p.a ke dalam labu ukur 100 mL.

#### **3.4.5.5 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Kuersetin**

Larutan kuersetin konsentrasi 100 ppm dipipet sebanyak 1 mL dimasukkan ke dalam labu 10 mL, lalu ditambahkan 3 mL metanol p.a, 0,1 mL aluminium klorida 10%, 0,1 mL natrium asetat 1 M dan akuades sampai tanda batas, dikocok sampai homogen kemudian diinkubasi selama 30 menit, kemudian diukur absorbansinya pada panjang gelombang 400-500 nm.

#### **3.4.5.6 Penentuan Waktu Inkubasi Optimum Kuersetin**

Larutan standar kuersetin 100 ppm dipipet 1 mL dimasukan ke dalam labu ukur 10 mL kemudian ditambahkan methanol p.a 3 mL, aluminium klorida 10% 0.1 mL, natrium asetat 1 M 0.1 mL lalu ditambahkan akuades sampai tanda batas. Setelah itu diukur serapan diukur pada panjang gelombang maksimum setiap menit 5, 10, 15, 20, 25, dan 30 serta ditentukan waktu optimum di mana waktu inkubasi yang memberikan serapan yang cukup stabil.

#### **3.4.5.7 Pembuatan Kurva Kalibrasi Standar Kuersetin**

Dipipet larutan kuersetin 1000 ppm dengan masing masing 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 dan 1 mL, lalu dimasukkan ke dalam labu ukur 10 mL kemudian diencerkan dengan metanol p.a sampai tanda batas sampai diperoleh larutan dengan konsentrasi 0, 20, 40, 60, 80 dan 100 ppm. Dipipet masing-masing larutan sebanyak 1 mL dimasukkan ke dalam labu ukur 10 mL, tambahkan 3 mL metanol p.a, kemudian tambahkan 0,1 mL aluminium klorida 10% lalu tambahkan 0,1 mL natrium asetat 1 M dan akuades hingga tanda batas (konsentrasi menjadi 2, 4, 6, 8, dan 10 ppm). Selanjutnya diinkubasi pada suhu kamar dengan waktu

optimum. Dicatat serapan pada panjang gelombang maksimum yang telah diperoleh kemudian diplot terhadap konsentrasi untuk memperoleh kurva dengan persamaan linier  $y=bx+a$ .

#### 3.4.5.8 Penentuan Kadar Flavonoid

Sampel ditimbang sebanyak 0,01 gram dilarutkan dengan metanol 10 mL dan dihomogenkan. Setelah itu dipipet 1 mL dimasukkan ke dalam labu ukur 10 mL ditambahkan methanol p.a 3 mL, aluminium klorida 10% 0.1 mL, dan natrium asetat 1 M 0.1 mL kemudian ditambahkan akuades sampai tanda batas 10 mL serta dihomogenkan. Larutan sampel diinkubasi selama waktu optimum dan diukur serapan pada panjang gelombang maksimum yang telah diperoleh.

#### 3.4.5.9 Perhitungan Kadar Flavonoid

Persamaan regresi linier hasil dari kurva kalibrasi untuk menentukan konsentrasi larutan uji dengan memasukkan absorbansi sampel sebagai nilai  $y$  dengan persamaan:  $y = bx + a \rightarrow x = (y - a)/b$  di mana  $y$ =absorbansi,  $x$ =konsentrasi, dan perumusan pada excel  $a$ =intersept,  $b$ =slope.

Setelah nilai  $x$  (konsentrasi larutan uji atau ppm) didapatkan selanjutnya dihitung kadar senyawa flavonoid dengan menggunakan rumus:

$$\text{Kadar Flavonoid (mgQE/g pada sampel)} = \frac{V \text{ (mL)} \times X \text{ (mg/ml)} \times FP}{\text{Bobot Sampel}}$$

Keterangan  $V$  = Volume yang melarutkan sampel,  $X$  = Konsentrasi sampel, dan  $FP$  = Faktor Pengenceran. Kadar flavonoid yang diperoleh dinyatakan dalam mg ekuivalen quersetin tiap gram sampel (mgQE/g sampel) (Quyen *et al.*, 2020).

### 3.4.6 Uji Kadar Protein dengan Metode Kjeldahl

Penentuan kadar protein dilakukan dengan metode Kjeldahl yang terdiri dari tiga tahapan, yaitu tahap destruksi, tahap destilasi, dan tahap titrasi (Saad *et al.*, 2020).

Untuk melakukan tahap destruksi, 0,5 gram bahan yang digiling ditimbang dan ditempatkan dalam tabung Kjeldahl 100 ml. 10 mililiter asam sulfat pekat dan sekitar satu gram katalis kemudian ditambahkan. Labu Kjeldahl dipanaskan pada kompor destruksi pada suhu 270°C selama 2 jam atau saat warna larutan menjadi jernih kehijauan.

Tabung destruksi kemudian didinginkan dan ditepatkan volumenya dengan aquades sampai 50 mL. Sebanyak 20 mL cairan diambil dan dimasukkan ke dalam labu destilasi kemudian 20 mL NaOH 40% ditambahkan dengan hati-hati melalui dinding. Indikator pp ditambahkan sebanyak 3 tetes. Blanko dibuat dengan mengganti sampel dengan aquades sebagai pengurang. Labu destilasi dipasangkan pada alat dan kondensor dinyalakan dan ujungnya dibenamkan dalam cairan penampung. Erlenmeyer yang berisi 20 mL larutan asam borax 0,1N yang sudah ditambahkan indikator metil merah sebanyak 3 tetes digunakan sebagai penampung hasil destilasi.

Sampel dan blanko hasil destilasi kemudian dititrasi menggunakan larutan HCl 0,1 N. Proses titrasi diakhiri sampai warna larutan pada Erlenmeyer berubah dari warna hijau muda menjadi ungu muda yang menandakan semua unsur N tepat bereaksi dengan Cl. Penentuan kadar protein dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\% \text{ Kadar Nitrogen} = \frac{\text{Kadar Amonium Klorida} \times \text{BE Nitrogen}}{w} \times 100\%$$

$$\% \text{ Kadar Protein} = \% \text{ Kadar Nitrogen} \times \text{Faktor Konversi (6,25)}$$

### 3.4.7 Uji Kadar Lemak dengan Metode Gravimetri

Biji kedelai dihaluskan menjadi serbuk, lalu ditimbang sebanyak 0,3 gram, kemudian dimasukkan ke dalam cawan pengaduk dan ditambahkan air sebanyak 0,6 ml sambil diaduk hingga merata. Selanjutnya ditambahkan 10 ml methanol dan 20 ml kloroform serta diaduk selama 5 menit. Setelah diaduk selama 5 menit, ditambahkan lagi 10 ml methanol dan diaduk selama 1 menit. Sampel kemudian disaring dengan top filter paper dan ditampung dalam corong pemisah serta dicuci dengan pelarut methanol-kloroform dengan perbandingan 1:1. Hasil saringan ditambahkan larutan NaCl 0.9% sebanyak 7,5 ml sambil dikocok, hingga homogen dan didiamkan selama satu malam sampai terbentuk dua lapisan. Lapisan bagian bawah (lemak dalam pelarut kloroform) ditampung dalam botol asah evaporator lalu diuapkan dengan unit evaporator dalam ruang asam. Lemak yang diperoleh kemudian dipindahkan ke dalam botol lemak, dikeringkan dengan oven pengering pada suhu 40°C. Lemak yang sudah kering dimasukkan ke dalam desikator selama 30 menit, lalu ditimbang beratnya (Gunamantha, 2020). Adapun rumus untuk menghitung kadar lemak adalah sebagai berikut: (Sugiantari dkk., 2023)

$$\text{Kadar lemak (\%)} = \frac{W_2 - W_1}{W_0} \times 100\%$$

W<sub>0</sub> : bobot sampel

W<sub>1</sub> : bobot awal sampel + cawan pengaduk kosong

W<sub>2</sub> : bobot akhir

### 3.4.8 Penentuan Kadar Isoflavon Genistein menggunakan *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC)

Dengan mengondisikan peralatan HPLC dan membuat larutan sampel, isoflavon diidentifikasi menggunakan metode HPLC. Lima mililiter metanol digunakan untuk melarutkan 0,1gram ekstrak untuk membuat larutan sampel. Setelah disentrifugasi, larutan disaring, dan 20  $\mu$ L diekstraksi untuk disuntikkan ke dalam HPLC. Kromatogram isoflavon genistein standar digunakan sebagai pembanding saat menganalisis kromatogram HPLC. Kondisi operasi Fase stasioner Eurospher RP C-18 (150  $\times$  4,6 MM I.D., 5  $\mu$ m) Knauer GmbH-Jerman, fase gerak campuran metanol:asam asetat 0,1 M (48:52 (v/v)), laju alir 1,2 mL/menit, volume injeksi (loop) 20  $\mu$ L, dan detektor UV 254 nm semuanya disertakan dalam peralatan. Perhitungan luas kromatogram memungkinkan dilakukannya analisis kuantitatif genistein (Lewidherti dkk., 2015).

Data mengenai luas puncak isoflavon genistein dari setiap sampel akan diperoleh setelah analisis HPLC. Untuk memperoleh informasi konsentrasi menurut unit dalam regresi linier, data yang diperoleh, khususnya luas puncak, kemudian dimasukkan ke dalam persamaan regresi linier hubungan antara konsentrasi standar (sebagai sumbu X) dan luas puncak kromatogram (sebagai sumbu Y). Selain itu, konsentrasi isoflavon genistein dalam sampel akan ditentukan dengan mempertimbangkan faktor pengenceran dan berat sampel yang ditimbang (Sulistyowati dkk., 2018). Analisa kualitatif pada HPLC berdasarkan waktu retensi sampel dibandingkan dengan standar atau CRM (*Certified Reference Material*) (Utami dkk., 2017). Analisis kuantitatif HPLC berdasarkan luas area atau tinggi puncak atau *peak* pada kromatogram. Hasil analisis dari

HPLC akan diinterpretasikan dalam bentuk kromatogram, dimana terdapat *peak* dengan nilai AUC (*Area under curve*) yang telah tertera pada kromatogram (Wahid, 2020).

### **3.5 Analisis Data**

Data yang diperoleh dari hasil uji kandungan protein, lemak, total fenol, flavonoid, dan isoflavon genistein akan dianalisis uji statistik deskriptif Standar Deviasi (SD) dengan menggunakan *software* berupa SPSS versi 25.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Kandungan Protein Pada Mutan Kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) Generasi M1 Varietas Dega 1 Hasil Iradiasi Sinar Gamma

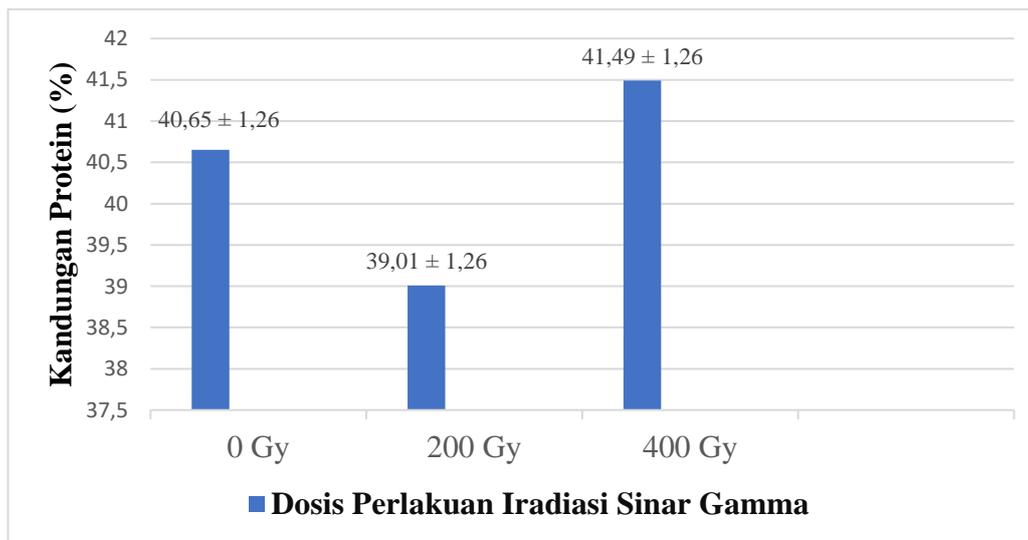
Hasil analisis statistik deskriptif standar deviasi (Lampiran 2) kandungan protein pada mutan kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) Generasi M1 Varietas Dega dapat dilihat pada tabel 4.1, sebagai berikut:

**Tabel 4.1 Uji Statistik Deskriptif Kandungan Protein Pada Mutan Kedelai Generasi M1 Varietas Dega 1 Hasil Iradiasi Sinar Gamma**

	<b>N</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	<b>Mean</b>	<b>Std. Deviation</b>
<b>Protein</b>	3	39.01	41.49	40.3833	1.26132
Valid N (listwise)	3				

Berdasarkan data pada Tabel 4.1 di atas, nilai rata-rata (*mean*) kandungan protein adalah 40,3833, sedangkan nilai standar deviasi adalah 1,26132. Nilai rata-rata (*mean*) lebih besar dari nilai standar deviasi. Hal ini menandakan bahwa nilai standar deviasi kecil dan data dalam variabel bersifat homogen atau data tidak menyebar. Adapun nilai minimum dan maksimum dari kandungan protein adalah 39,01 dan 41,49.

Pemberian perlakuan dosis iradiasi sinar Gamma mampu meningkatkan kandungan protein mutan kedelai generasi M1 varietas Dega 1. Peningkatan kandungan protein tertinggi pada perlakuan dosis 400 Gy sebesar 41,49 %. Kandungan protein terendah pada perlakuan 200 Gy sebesar 39,01% dan perlakuan kontrol 40,65 % (Gambar 4.1).



**Gambar 4.1 Kandungan protein kedelai mutan pada setiap perlakuan iradiasi sinar Gamma**

Berdasarkan diagram batang kandungan protein kedelai mutan pada setiap perlakuan iradiasi sinar Gamma menunjukkan pada perlakuan awal, kontrol mengalami kenaikan dan menurun pada dosis 200 Gy, lalu meningkat kembali pada dosis 400 Gy (Gambar 4.1). Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Wang *et al* (2020) bahwa pemberian dosis iradiasi sinar Gamma 7,5 kGy dapat meningkatkan kandungan protein sebanyak 41 %.

Menurut Mei *et al* (2018) menunjukkan bahwa iradiasi sinar Gamma dapat mengakibatkan mutasi berupa adanya perubahan *sequencing* (untaian) DNA, sehingga terjadi perubahan sintesis protein yang mengakibatkan perubahan kandungan protein dari mutan kedelai. Selain itu, pada dosis iradiasi sinar Gamma 3-5 kGy, iradiasi sinar Gamma mampu mengubah struktural protein dengan mengurangi kandungan heliks- $\alpha$  miofibrilar dan menambah lembaran  $\beta$ . Penelitian Ting *et al* (2019) menunjukkan bahwa iradiasi sinar Gamma membongkar susunan molekul protein kedelai yang menyebabkan degradasi rantai polipeptida,

ikatan silang, dan agregasi. Iradiasi sinar Gamma meningkatkan sifat fungsional protein dengan mengubah bentuk polimerisasi molekul protein (Li *et al.*, 2015).

Menurut Dona *et al* (2013), hal ini disebabkan oleh perbedaan tingkat radiosensitivitas tanaman kedelai, paparan dosis yang tinggi meningkatkan sistem pertahanan untuk perbaikan kerusakan DNA sebagai respon stres oksidatif. Sinar Gamma yang memutasi acak menyebabkan tiap dosis mengalami ekspresi yang berbeda-beda (Ali *et al.*, 2015).

Kerusakan DNA kemungkinan terjadi selama paparan iradiasi sinar Gamma (Hoeck *et al.*, 2015), diantaranya berupa *crosslink*, delesi, insersi, translokasi, *single strand break*, *double strand break*, sehingga trend mutasi tidak dapat diprediksi (Riviello *et al.*, 2022). Sinar Gamma yang merupakan radiasi pengion akan memutasi baik secara langsung maupun tidak langsung yang mengarah pada ionisasi dan perubahan fungsional pada protein atau enzim dan berbagai aktivitas metabolisme lainnya (Majeed *et al.*, 2016).

Selain itu, iradiasi sinar gamma mampu mengaktifkan atau meningkatkan ekspresi gen-gen pengkode protein penyimpanan seperti *glycinin* dan  $\beta$ -*conglycinin*, yang merupakan dua jenis protein utama dalam biji kedelai. Aktivasi gen tersebut dapat meningkatkan akumulasi protein total dalam biji (Gaikwad *et al.*, 2015). Selain itu, radiasi juga dilaporkan meningkatkan aktivitas enzim glutamine synthetase dan nitrate reductase, yang memainkan peran penting dalam fiksasi dan asimilasi nitrogen, sehingga meningkatkan ketersediaan prekursor untuk sintesis protein (Zaka *et al.*, 2002). Penelitian oleh Riyadi *et al.* (2015) pada mutan kedelai hasil iradiasi gamma 200 Gy dan 400 Gy menunjukkan adanya

peningkatan kandungan protein total hingga 8–15% dibandingkan tanaman kontrol.

Peningkatan kandungan protein pada kedelai mutan akibat iradiasi sinar gamma dapat dikaitkan dengan perubahan pada tingkat fisiologis dan metabolik sel. Iradiasi dapat menginduksi mutasi yang mengoptimalkan jalur biosintesis asam amino dan protein. Mutasi pada gen-gen yang terlibat dalam metabolisme nitrogen dapat meningkatkan efisiensi translokasi nitrogen dari bagian vegetatif (daun dan batang) ke biji selama masa pengisian biji. Peningkatan akumulasi nitrogen di biji secara langsung berkorelasi dengan peningkatan kandungan protein (Shahbaz *et al.*, 2011).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa iradiasi dapat memengaruhi aktivitas enzim kunci yang terlibat dalam metabolisme protein. Misalnya, mutan yang terpilih mungkin memiliki aktivitas enzim nitrat reduktase (NR) atau glutamin sintetase (GS) yang lebih tinggi, yang merupakan enzim penting dalam asimilasi nitrogen. Peningkatan aktivitas enzim ini memungkinkan tanaman untuk mengubah nitrogen anorganik (nitrat dan amonium) menjadi senyawa organik (asam amino) lebih efisien (Thapa *et al.*, 2021). Peningkatan protein pada kedelai mutan juga sering dikaitkan dengan perubahan pada arsitektur biji atau *sink strength* (kekuatan penampung atau penarik). Mutasi dapat menghasilkan biji yang lebih besar atau mengubah kapasitas biji untuk menarik fotosintat dan nutrisi (Yang *et al.*, 2018).

#### 4.2 Kandungan Lemak Pada Mutan Kedelai Generasi M1 Varietas Dega 1 Hasil Iradiasi Sinar Gamma

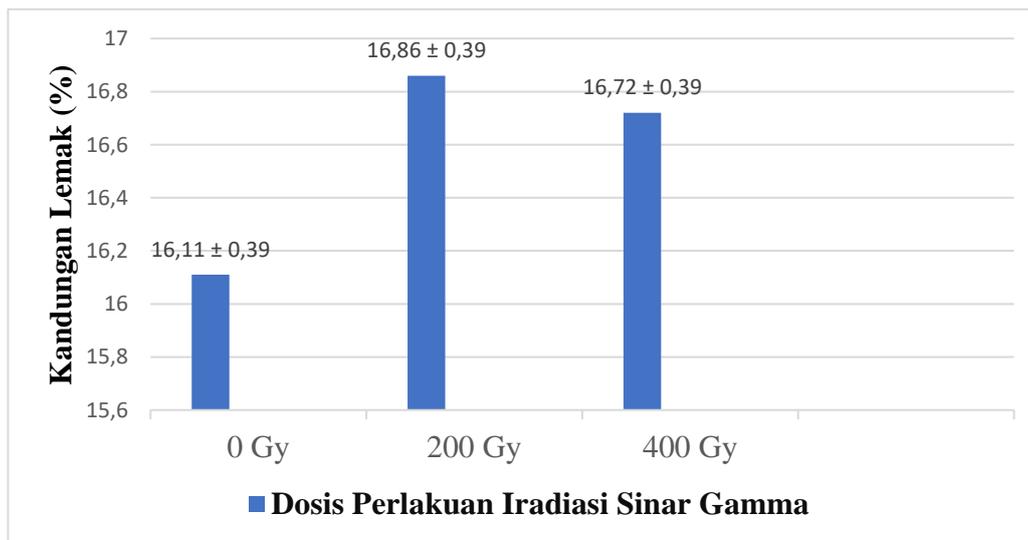
Hasil analisis statistik deskriptif standar deviasi (Lampiran 2) kandungan lemak pada mutan kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) Generasi M1 Varietas Dega dapat dilihat pada tabel 4.2, sebagai berikut:

**Tabel 4.2 Uji Statistik Deskriptif Kandungan Lemak Pada Mutan Kedelai Generasi M1 Varietas Dega 1 Hasil Iradiasi Sinar Gamma**

	<b>N</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	<b>Mean</b>	<b>Std. Deviation</b>
<b>Lemak</b>	3	16.11	16.86	16.5633	0.39879
Valid N (listwise)	3				

Berdasarkan data pada Tabel 4.2 di atas, nilai rata-rata (*mean*) kandungan lemak adalah 16,5633, sedangkan nilai standar deviasi adalah 0,39879. Nilai rata-rata (*mean*) lebih besar dari nilai standar deviasi. Hal ini menandakan bahwa nilai standar deviasi kecil dan data dalam variabel bersifat homogen atau data tidak menyebar. Adapun nilai minimum dan maksimum dari kandungan lemak adalah 16,11 dan 16,86.

Pemberian perlakuan dosis iradiasi sinar Gamma memberikan peningkatan kandungan lemak mutan kedelai generasi M1 varietas Dega 1. Kandungan lemak terendah pada perlakuan kontrol sebesar 16,11 %. Peningkatan kandungan lemak tertinggi pada perlakuan dosis 200 Gy dan 400 Gy sebesar 16,86 % dan 16,72 % (Gambar 4.2).



**Gambar 4.2 Kandungan lemak kedelai mutan pada setiap perlakuan iradiasi sinar Gamma**

Berdasarkan diagram batang kandungan lemak kedelai mutan pada setiap perlakuan iradiasi sinar Gamma menunjukkan bahwa perlakuan kontrol memiliki kandungan lemak terendah yaitu, 16,11 % dibandingkan dengan perlakuan 200 Gy dan 400 Gy sebanyak 16,86 % dan 16,72 %.

Penurunan kadar lemak pada tanaman yang diiradiasi sinar Gamma menunjukkan bahwa iradiasi Gamma pada kedelai cocok untuk dijadikan minyak nabati yang dapat dikonsumsi (Azam *et al.*, 2005). Radiasi pengion dapat mempengaruhi kualitas lemak dengan meningkatkan derajat oksidasi. Radiasi ini juga dapat menghadirkan molekul aktif seperti radikal bebas, yang dapat memicu reaksi kimia yang juga dapat mengakibatkan pengasaman lemak. Radiasi lipid merangsang produksi radikal bebas yang bereaksi dengan oksigen dan bertanggung jawab atas pembentukan gugus karbonil serta modifikasi fitur sensorik dan nutrisi makanan (Kara *et al.*, 2016).

Radiasi pengion mempengaruhi komposisi asam lemak pada minyak alami, dan pembentukan peroksida lipid menunjukkan bahwa nilai peroksida minyak dan

lemak akan meningkat dengan adanya iradiasi sinar Gamma (Kara *et al.*, 2016). Penelitian tentang pengaruh iradiasi sinar gamma (0,5, 1,0 dan 1,5 kGy) terhadap lipid yang terdapat dalam berbagai tanaman kacang-kacangan, menunjukkan bahwa lipid yang diekstrak dari biji kacang-kacangan memiliki nilai peroksida, anisidin dan asam lemak bebas yang lebih tinggi dibandingkan dengan sampel yang tidak diiradiasi (Mohajer *et al.*, 2014).

Iradiasi sinar gamma merupakan salah satu bentuk mutagenesis fisik yang mampu menimbulkan mutasi genetik secara acak di dalam genom tanaman. Ketika jaringan tanaman terkena sinar gamma, terbentuk spesies oksigen reaktif (ROS) yang dapat menyebabkan kerusakan pada DNA, termasuk gen yang mengatur jalur metabolisme lipid. Mutasi yang terjadi dapat mengakibatkan aktivasi atau supresi gen-gen tertentu, termasuk yang mengatur sintesis dan akumulasi asam lemak, seperti gen *FAD2*, *SAD*, dan *DGAT* (Gonzalez-Mellado *et al.*, 2014). Beberapa studi menyebutkan bahwa iradiasi dapat meningkatkan aktivitas enzim-enzim kunci dalam biosintesis lemak, seperti acetyl-CoA carboxylase (ACC) dan fatty acid synthase (FAS), yang mengarahkan peningkatan produksi prekursor asam lemak jenuh dan tak jenuh (Anbarasan *et al.*, 2013). Selain itu, iradiasi juga dapat meningkatkan ekspresi gen pengkode enzim *oleosin*, yang penting dalam pembentukan badan lipid (*oil bodies*) pada biji kedelai (Nabulsi *et al.*, 2011).

Pada penelitian ini, dosis 200 Gy menunjukkan kandungan lemak tertinggi, yang kemungkinan disebabkan oleh mutasi yang merangsang aktivitas jalur metabolisme lipid secara optimal tanpa menyebabkan kerusakan sel yang bersifat merugikan. Sebaliknya, dosis tinggi seperti 400 Gy cenderung menunjukkan

penurunan kadar lemak, kemungkinan akibat terjadinya mutasi letal atau kerusakan struktural pada membran sel dan organel penghasil lipid seperti plastida dan endoplasmic reticulum (Sathish *et al.*, 2018). Fenomena peningkatan lemak ini juga didukung oleh penelitian Riyadi *et al.* (2015), yang menunjukkan bahwa kedelai hasil mutasi dengan iradiasi gamma mengalami perubahan profil biokimia, termasuk peningkatan kandungan lipid total dan proporsi asam lemak tak jenuh.

#### **4.3 Kandungan Metabolit Sekunder Pada Mutan Kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) Generasi M1 Varietas Dega 1 Hasil Iradiasi Sinar Gamma**

##### **4.3.1 Kandungan Total Fenol (ppm) Pada Mutan Kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) Generasi M1 Varietas Dega 1 Hasil Iradiasi Sinar Gamma**

Hasil analisis statistik deskriptif standar deviasi (Lampiran 2) kandungan total fenol pada mutan kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) Generasi M1 Varietas Dega dapat dilihat pada tabel 4.3, sebagai berikut:

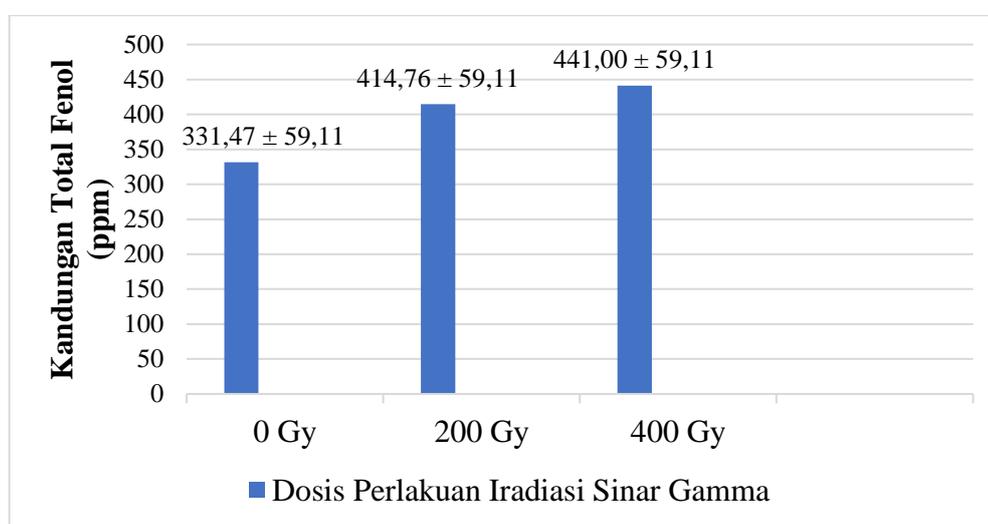
**Tabel 4.3 Uji Statistik Deskriptif Kandungan Total Fenol Pada Mutan Kedelai Generasi M1 Varietas Dega 1 Hasil Iradiasi Sinar Gamma**

	<b>N</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	<b>Mean</b>	<b>Std. Deviation</b>
<b>Total Fenol</b>	3	331.478	441.003	399.08900	59.111617
Valid N (listwise)	3				

Berdasarkan data pada Tabel 4.3 di atas, nilai rata-rata (*mean*) kandungan total fenol adalah 399,08900, sedangkan nilai standar deviasi adalah 59,111617. Nilai rata-rata (*mean*) lebih besar dari nilai standar deviasi. Hal ini menandakan bahwa nilai standar deviasi kecil dan data dalam variabel bersifat homogen atau

data tidak menyebar. Adapun nilai minimum dan maksimum dari kandungan total fenol adalah 331,478 dan 441,003.

Pemberian perlakuan dosis iradiasi sinar Gamma mampu meningkatkan kandungan total fenol mutan kedelai generasi M1 varietas Dega 1. Peningkatan kandungan total fenol tertinggi pada perlakuan dosis 400 Gy sebesar 441,003 ppm. Kandungan total fenol terendah pada perlakuan 200 Gy sebesar 414,768 ppm dan perlakuan kontrol 331,4785 ppm (Gambar 4.3).



**Gambar 4.3 Kandungan total fenol kedelai mutan pada setiap perlakuan iradiasi sinar Gamma**

Berdasarkan diagram batang kandungan total fenol kedelai mutan pada setiap perlakuan iradiasi sinar Gamma menunjukkan terdapat peningkatan konsentrasi total fenol. Perlakuan 400 Gy mengalami peningkatan signifikan dibandingkan dengan perlakuan kontrol dan 200 Gy (Gambar 4.3). Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh de Barros *et al* (2019), pemberian dosis iradiasi sinar Gamma pada 4 kGy meningkatkan kandungan total fenol sebanyak 15,5 mg/g. Penelitian yang dilakukan oleh Farkhad & Abdolkarim (2020) menunjukkan peningkatan kandungan total fenol sebanyak 16,12 µg/mg.

Iradiasi tanaman dengan dosis sinar gamma yang tinggi dapat mengganggu keseimbangan hormon, pertukaran air, dan aktivitas enzim. Efek tersebut meliputi perubahan struktur sel dan metabolisme tanaman, seperti pelebaran membran tilakoid, perubahan fotosintesis, modulasi sistem antioksidan, dan akumulasi senyawa fenolik (Kiong *et al.*, 2008).

Menurut Verardo *et al* (2015), kondisi ini dapat dikaitkan dengan produksi radikal bebas yang disebabkan oleh stres oksidatif yang merangsang metabolisme sekunder tanaman, khususnya fenilalanin amonia-liase untuk mengkatalisis produksi lebih banyak antioksidan, seperti fenol. Efek iradiasi sinar Gamma yang merupakan iradiasi ionisasi mengakibatkan pembentukan radikal bebas (ROS) dan molekul aktif lainnya. Radikal bebas akan menyebabkan perubahan tingkat molekuler, termasuk kerusakan DNA pada sel tanaman, kerusakan DNA termasuk gen pengkode enzim-enzim yang terlibat dalam fotosintesis dan fotorespirasi yang nantinya mengubah fungsi dan aktivitas enzim. Fenol berfungsi sebagai antioksidan alami yang membantu menetralkan ROS, sehingga peningkatan produksinya merupakan respons adaptif terhadap paparan radiasi. (Vasudevan *et al.*, 2023).

Iradiasi dapat mengakibatkan radiolisis molekul air di dalam sel, yang mengakibatkan produksi radikal hidropoksida, radikal hidroksil, dan elektron terhidrasi. Radikal bebas ini menargetkan ikatan glikosidik polifenol oligomerik dan menyebabkan pembentukan fenol monomerik atau fenol terlarut, sehingga meningkatkan (*total phenolic content*) TPC (Farkhad & Abdolkarim, 2020). Dilaporkan juga bahwa peningkatan TPC yang disebabkan oleh iradiasi dapat

disebabkan oleh peningkatan fenol terlarut akibat pembelahan ikatan kovalen komponen polifenol (Jamshidi *et al.*, 2014).

Peningkatan kandungan fenol juga erat kaitannya dengan aktivasi enzim fenilalanin amonia liase (PAL), enzim kunci dalam jalur biosintesis fenilpropanoid. Iradiasi gamma terbukti dapat meningkatkan ekspresi gen *PAL* serta enzim terkait lain seperti *chalcone synthase* (CHS) dan *cinnamate-4-hydroxylase* (C4H), yang semuanya berperan dalam pembentukan berbagai senyawa fenolik (Kováčik *et al.*, 2009; Sadeghi *et al.*, 2013).

#### **4.3.2 Kandungan Flavonoid (ppm) Pada Mutan Kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) Generasi M1 Varietas Dega 1 Hasil Iradiasi Sinar Gamma**

Hasil analisis statistik deskriptif standar deviasi (Lampiran 2) kandungan flavonoid pada mutan kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) Generasi M1 Varietas Dega dapat dilihat pada tabel 4.4, sebagai berikut:

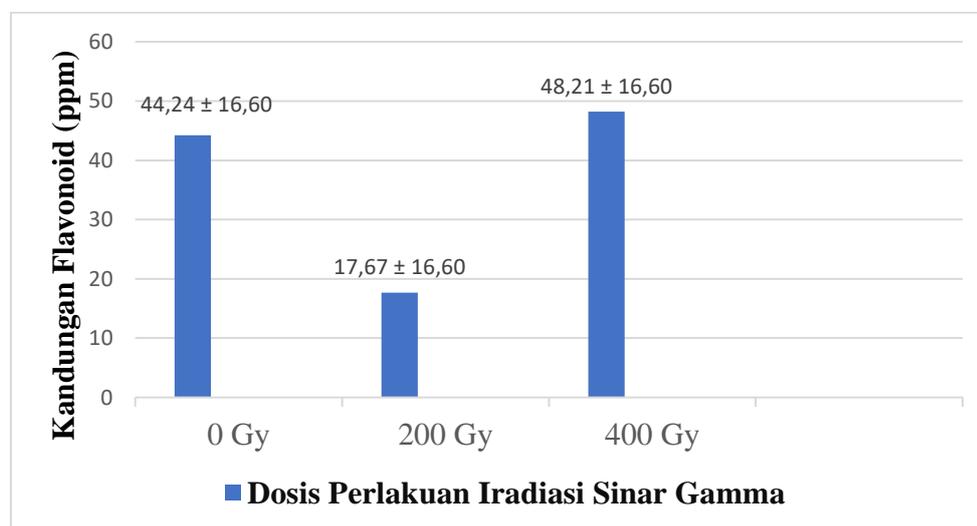
**Tabel 4.4 Uji Statistik Deskriptif Kandungan Flavonoid Pada Mutan Kedelai Generasi M1 Varietas Dega 1 Hasil Iradiasi Sinar Gamma**

	<b>N</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	<b>Mean</b>	<b>Std. Deviation</b>
<b>Flavonoid</b>	3	17.678	48.219	36.71433	16.605200
Valid N (listwise)	3				

Berdasarkan data pada Tabel 4.4 di atas, nilai rata-rata (*mean*) kandungan flavonoid adalah 36,71433, sedangkan nilai standar deviasi adalah 16,605200. Nilai rata-rata (*mean*) lebih besar dari nilai standar deviasi. Hal ini menandakan bahwa nilai standar deviasi kecil dan data dalam variabel bersifat homogen atau data tidak menyebar. Adapun nilai minimum dan maksimum dari kandungan flavonoid adalah 17,678 dan 48,219.

Pemberian perlakuan dosis iradiasi sinar Gamma mampu meningkatkan kandungan flavonoid mutan kedelai generasi M1 varietas Dega 1. Peningkatan

kandungan flavonoid tertinggi pada perlakuan dosis 400 Gy sebesar 48,2195 ppm. Kandungan flavonoid terendah pada perlakuan kontrol sebesar 44,2465 ppm dan perlakuan 200 Gy 17,6785 ppm (Gambar 4.4).



**Gambar 4.4 Kandungan flavonoid kedelai mutan pada setiap perlakuan iradiasi sinar Gamma**

Berdasarkan diagram batang kandungan flavonoid kedelai mutan pada setiap perlakuan iradiasi sinar Gamma menunjukkan pada perlakuan awal, kontrol mengalami kenaikan dan menurun pada dosis 200 Gy, lalu meningkat kembali pada dosis 400 Gy (Gambar 4.4). Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Farkhad & Abdolkarim (2020) bahwa perlakuan dosis iradiasi sinar Gamma 0,5 kGy menunjukkan peningkatan kandungan flavonoid sebanyak 9,46 µg/mg.

Dona *et al* (2013) mengaitkan hal ini dengan variasi radiosensitivitas tanaman kedelai; paparan dosis tinggi meningkatkan mekanisme pertahanan untuk memperbaiki kerusakan DNA sebagai reaksi terhadap stres oksidatif. Sinar gamma yang bermutasi secara acak menyebabkan ekspresi yang berbeda-beda untuk setiap dosis (Ali *et al.*, 2015).

Gamma yang merupakan iradiasi ionisasi akan membentuk *reactive oxygen species* (ROS) yang merusak protein, lipid, dan asam nukleat dalam sel yang menjadi komponen-komponen dalam fotorespirasi (Dellero *et al.*, 2016). Faktor lainnya adalah stres oksidatif akibat iradiasi pada tanaman memicu perubahan dalam metabolisme tanaman sebagai respon adaptif (Ali *et al.*, 2015). Tanaman akan mengubah jalur metabolik untuk mengatasi stres oksidatif yang diinduksi iradiasi termasuk peningkatan aktivitas jalur-jalur tertentu atau penurunan lainnya (Ludovici, 2020).

Menurut Lau *et al* (2021) menyatakan bahwa pemaparan dosis iradiasi yang rendah dapat menyebabkan kerusakan DNA dalam skala lebih kecil jika dibandingkan dengan dosis yang terlalu tinggi, sehingga akan merangsang sistem perbaikan DNA dan meningkatkan aktivitas radioadaptasi dan radioprotektif dengan mengembangkan kemampuan adaptif menghadapi paparan iradiasi yang lebih tinggi. Kemampuan respon adaptif akan memicu aktivasi beragam jalur sinyal dan respon stress terkait sistem pertahanan seperti peningkatan sistem perbaikan DNA, induksi sintesis protein, dan peningkatan detoksifikasi radikal bebas (Matsumoto *et al.*, 2011).

Flavonoid disintesis melalui jalur fenilpropanoid dan flavonoid, yang dimulai dari aktivitas enzim fenilalanin amonia liase (PAL), diikuti oleh enzim-enzim kunci seperti chalcone synthase (CHS), chalcone isomerase (CHI), dan flavanone 3-hydroxylase (F3H). Iradiasi gamma terbukti dapat meningkatkan aktivitas enzim-enzim ini, baik melalui peningkatan ekspresi gen maupun aktivasi enzim secara langsung. Peningkatan kandungan flavonoid ini penting karena senyawa ini memiliki aktivitas antioksidan tinggi dan berkontribusi terhadap nilai fungsional

dan nutrisi dari kedelai sebagai pangan fungsional. (Guan *et al.*, 2009; Kováčik *et al.*, 2009).

#### **4.3.3 Kandungan Isoflavon Genistein Pada Mutan Kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) Generasi M1 Varietas Dega 1 Hasil Iradiasi Sinar Gamma**

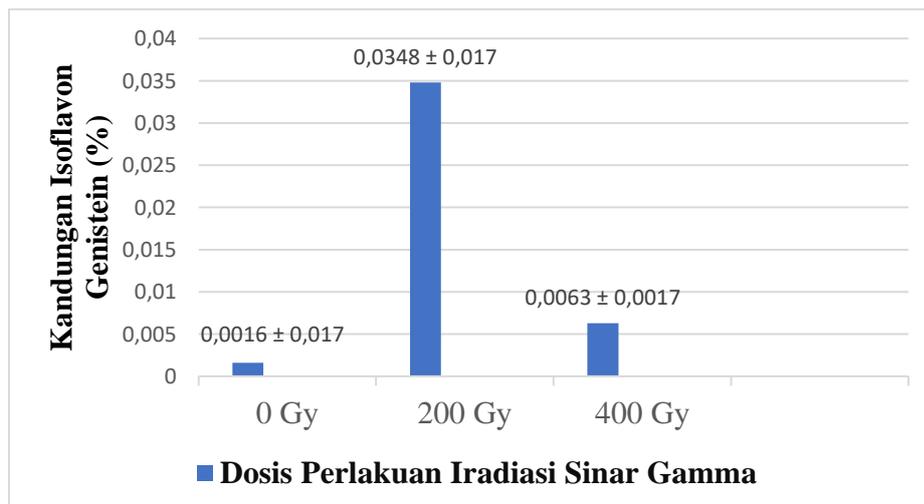
Hasil analisis statistik deskriptif standar deviasi (Lampiran 2) kandungan isoflavon genistein pada mutan kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) Generasi M1 Varietas Dega 1 dapat dilihat pada tabel 4.5, sebagai berikut:

**Tabel 4.5 Uji Statistik Deskriptif Kandungan Isoflavon Genistein Pada Mutan Kedelai Generasi M1 Varietas Dega 1 Hasil Iradiasi Sinar Gamma**

	<b>N</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	<b>Mean</b>	<b>Std. Deviation</b>
<b>Isoflavon Genistein</b>	3	0.0016	0.0348	0.014233	0.0179656
Valid N (listwise)	3				

Berdasarkan data pada Tabel 4.5 di atas, nilai rata-rata (*mean*) kandungan isoflavon genistein adalah 0,014233, sedangkan nilai standar deviasi adalah 0,0179656. Nilai rata-rata (*mean*) lebih besar dari nilai standar deviasi. Hal ini menandakan bahwa nilai standar deviasi kecil dan data dalam variabel bersifat homogen atau data tidak menyebar. Adapun nilai minimum dan maksimum dari kandungan isoflavon genistein adalah 0,0016 dan 0,0348.

Pemberian perlakuan dosis iradiasi sinar Gamma mampu meningkatkan kandungan isoflavon genistein mutan kedelai generasi M1 varietas Dega 1. Peningkatan kandungan isoflavon genistein tertinggi pada perlakuan dosis 200 Gy sebesar 0,0348 %. Kandungan isoflavon genistein terendah pada perlakuan 400 Gy sebesar 0,0063 % dan perlakuan kontrol 0,0016 % (Gambar 4.5).

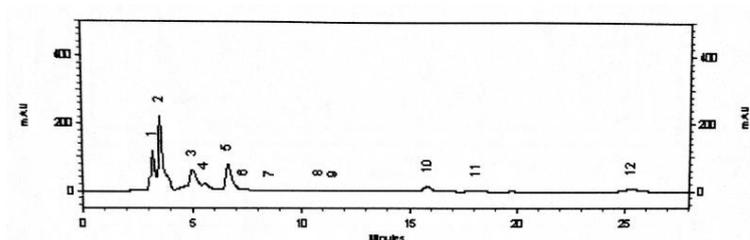


**Gambar 4.5 Kandungan isoflavon genistein kedelai mutan pada setiap perlakuan iradiasi sinar Gamma**

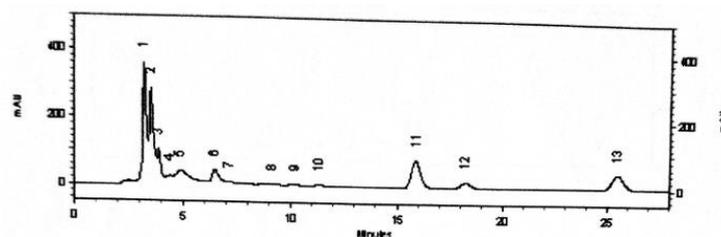
Berdasarkan diagram batang kandungan isoflavon genistein kedelai mutan pada setiap perlakuan iradiasi sinar Gamma menunjukkan terdapat peningkatan konsentrasi isofalavon genistein. Perlakuan 200 Gy mengalami peningkatan signifikan dibandingkan dengan perlakuan kontrol dan 400 Gy (Gambar 4.5). Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Farkhad & Abdolkarim (2020) bahwa perlakuan dosis iradiasi sinar Gamma 0,5 kGy menunjukkan peningkatan kandungan isoflavon genistein sebanyak 0,174 mg/g. Perubahan kandungan isoflavon pada mutan kedelai oleh iradiasi sinar Gamma bergantung pada beberapa faktor seperti genotipe dan kondisi iradiasi seperti laju dosis dan prosedur ekstraksi isoflavon (Popovic *et al.*, 2013).

Konsentrasi isoflavon genistein dapat ditentukan dengan melihat luas area atau tinggi puncak atau peak pada kromatogram HPLC (Wahid, 2020). Sedangkan untuk mengetahui jenis isoflavon dapat dengan membandingkan waktu retensi sampel dengan standar atau CRM (*Certified Reference Material*) (Utami dkk.,

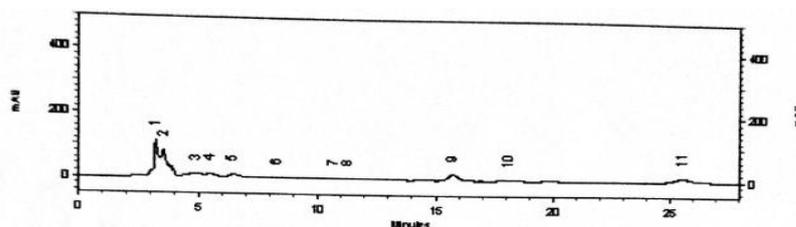
2017). Adapun untuk waktu retensi standar dari isoflavon genistein adalah 24,633 menit dan luas area 13802182 mAu.



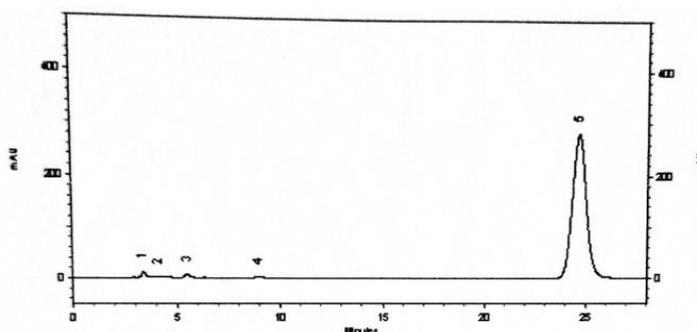
**Gambar 4.6 Analisis kromatogram HPLC isoflavon genistein mutan kedelai perlakuan kontrol**



**Gambar 4.7 Analisis kromatogram HPLC isoflavon genistein mutan kedelai perlakuan 200 Gy**



**Gambar 4.8 Analisis kromatogram HPLC isoflavon genistein mutan kedelai perlakuan 400 Gy**



**Gambar 4.9 Kromatogram HPLC marker isoflavon genistein**

Konsentrasi isoflavon genistein mengalami peningkatan signifikan di seluruh perlakuan dosis iradiasi sinar Gamma dibandingkan dengan kontrol. Pada perlakuan kontrol, isoflavon genistein ditemukan pada *peak* 12 dengan waktu retensi 25.300 menit, luas area 307379 mAu dan konsentrasi sebanyak 0,0016 %. Pada perlakuan 200 Gy, isoflavon genistein ditemukan pada *peak* 13 dengan waktu retensi 25.483 menit, luas area 1854789 mAu dan konsentrasi sebanyak 0,0348 %. Pada perlakuan 400 Gy, isoflavon genistein ditemukan pada *peak* 11 dengan waktu retensi 25.533 menit, luas area 523585 mAu dan konsentrasi sebanyak 0,0063 %.

Peningkatan kandungan isoflavon, yang dilaporkan dalam sejumlah penelitian, menyoroti fakta bahwa iradiasi sinar Gamma dalam kedelai membuka jalur biosintesis baru bagi peningkatan kandungan aglikon isoflavon. Hasil penelitian oleh Farkhad & Abdolkarim (2020) yang menyatakan bahwa radiasi gamma pada dosis rendah 0,5 kGy dapat menguraikan glikosida dalam kacang kedelai dan mengubahnya menjadi isoflavon bebas. Isoflavon genistein memiliki stabilitas lebih tinggi dibandingkan dengan isoflavon aglikon lainnya seperti daidzein dan glisitein, yang disebabkan oleh ikatan yang lebih stabil dari gugus 5-hidroksi ke cincin A genistein.

Isoflavon, termasuk genistein, merupakan senyawa metabolit sekunder yang disintesis melalui jalur fenilpropanoid dan flavonoid. Jalur ini dimulai dengan aktivitas enzim fenilalanin amonia liase (PAL) dan diikuti oleh serangkaian enzim lain seperti chalcone synthase (CHS), chalcone isomerase (CHI), dan isoflavone synthase (IFS), yang secara khusus mengarahkan biosintesis genistein dan daidzein (Akashi *et al.*, 2005). Iradiasi sinar gamma merupakan radiasi pengion

yang menghasilkan spesies oksigen reaktif (ROS) dalam jaringan tanaman. ROS dalam dosis rendah dapat bertindak sebagai sinyal stres yang merangsang ekspresi gen-gen pertahanan dan metabolit sekunder. Aktivasi jalur ini dapat meningkatkan ekspresi gen *IFS*, yang merupakan enzim kunci dalam konversi flavonoid menjadi isoflavon, termasuk genistein (Zahran *et al.*, 2019). Selain itu, ROS juga dapat mengaktifkan transkripsi faktor seperti MYB dan bHLH, yang diketahui mengatur biosintesis flavonoid dan isoflavon (Li, 2014).

Penelitian Riyadi *et al.* (2015) melaporkan bahwa kedelai yang mengalami mutasi akibat iradiasi sinar gamma pada dosis 200–300 Gy menunjukkan peningkatan signifikan kandungan isoflavon total, termasuk genistein. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian ini, di mana perlakuan 200 Gy menghasilkan kandungan genistein tertinggi dibandingkan kontrol dan dosis 400 Gy. Penurunan kandungan genistein pada dosis 400 Gy diduga akibat stres oksidatif yang berlebihan sehingga mengganggu ekspresi gen dan aktivitas enzim biosintetik secara keseluruhan. Peningkatan kandungan genistein ini memiliki nilai tambah fungsional karena genistein merupakan fitoestrogen yang memiliki aktivitas antioksidan, antikanker, dan mendukung kesehatan hormonal. (Wi *et al.*, 2007).

#### 4.4 Tinjauan Hasil Penelitian dalam Perspektif Islam

Al-Qur'an merupakan sumber pedoman hidup bagi seluruh umat muslim yang di dalamnya tidak terdapat pernyataan-pernyataan yang bertentangan dengan fakta ilmu pengetahuan. Manusia sebagai manusia yang memiliki akal sudah selayaknya memikirkan ciptaan Allah sebagaimana dalam QS: Ali-Imran [3]: 190, sebagaimana berikut:

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ لَآيَاتٍ لِّأُولِي الْأَلْبَابِ ﴿١٩٠﴾

Artinya: “*Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi serta pergantian malam dan siang terdapat tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi orang yang berakal,*”

Selain ayat di atas, manusia memikirkan ciptaan Allah dijelaskan sebagaimana dalam QS: An-Nahl [16]: 10-11 sebagai berikut:

هُوَ الَّذِي أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً لَكُمْ مِنْهُ شَرَابٌ وَمِنْهُ شَجَرٌ فِيهِ تُسِيمُونَ ﴿١٠﴾ يُنْبِتُ لَكُمْ بِهِ الزَّرْعَ وَالزَّيْتُونَ وَالنَّخِيلَ وَالْأَعْنَابَ وَمِنْ كُلِّ الثَّمَرَاتِ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَةً لِقَوْمٍ يَتَفَكَّرُونَ ﴿١١﴾

Artinya: “*Dialah yang telah menurunkan air (hujan) dari langit untuk kamu. Sebagiannya menjadi minuman dan sebagiannya (menyuburkan) tumbuhan yang dengannya kamu menggembalakan ternakmu. Dengan (air hujan) itu Dia menumbuhkan untukmu tumbuh-tumbuhan, zaitun, kurma, anggur, dan segala macam buah-buahan. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda (kebesaran Allah) bagi orang yang berpikir.*”

Tafsir Al Misbah, pada ayat 10 di atas memberikan penjelasan mengenai kekuasaan Allah SWT, yang menciptakan air sebagai perantara untuk beraneka ragam tumbuhan agar tumbuh subur. Berbagai tumbuhan tersebut bisa dimanfaatkan sebagai pemenuhan kebutuhan makanan untuk manusia dan hewan. Selanjutnya pada ayat 11 Allah menjelaskan berbagai tanaman yang bermanfaat seperti zaitun, kurma, anggur dan buah-buahan. Pada ayat ini terdapat rujukan kata yang memiliki arti “berpikir”, yang mana kata tersebut bertujuan agar manusia dapat memanfaatkan kemampuannya yaitu berpikir untuk mempelajari segala sesuatu yang telah diciptakan Allah agar mendapatkan manfaat (Shihab, 2002). Salah satu dari hasil pemikiran manusia adalah dengan memanfaatkan radiasi sinar Gamma untuk meningkatkan hasil produktivitas dan kualitas tanaman kedelai. Sinar Gamma termasuk dalam kekuasaan Allah yang dimanfaatkan oleh manusia, secara implisit terdapat dalam QS: Al-Jaatsiyah [45]: 5, sebagaimana berikut:

وَإِخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ وَمَا أَنْزَلَ اللَّهُ مِنَ السَّمَاءِ مِنْ رِزْقٍ فَأَحْيَا بِهِ الْأَرْضَ بَعْدَ مَوْتِهَا وَتَصْرِيفِ  
الرِّيحِ آيَاتٍ لِقَوْمٍ يَعْقِلُونَ ﴿٥﴾

Artinya: “(Pada) pergantian malam dan siang serta rezeki yang diturunkan Allah dari langit, lalu dihidupsuburkannya bumi (dengan air hujan) sesudah matinya, dan pada perkisaran angin terdapat (pula) tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi kaum yang mengerti.”

Menurut tafsir as-Sa’di (2016), lafadz *يَعْقِلُونَ* yang dimaksud adalah jika

kalian beriman maka kebenaran dan keyakinan Allah SWT mengukuhkan tanda-tanda kekuasaannya di alam semesta (*al ayat al-ufuqiyah*) dan dalam diri manusia (*al ayat an nafsiyah*). Rohmatulloh & Dwojayanto (2021) menjelaskan dalam ayat ini bahwa pengukuran gelombang seperti angin bertiup membawa awan untuk mengirimkan air hujan dan angin meniup layar agar kapal dapat berlayar di laut. Kita merasakan kedekatan makna “angin” dalam ayat ini adalah gelombang, tidak hanya gelombang suara yang membawa berita tetapi juga gelombang radio atau gelombang elektromagnetik yang dapat dipancarkan ke seluruh penjuru dunia. Gelombang elektromagnetik salah satunya adalah sinar Gamma yang dimanfaatkan bagi kemaslahatan umat manusia.

Allah SWT menundukkan segala hal di bumi dan langit, termasuk sinar Gamma. Hal ini terdapat dalam firman Allah SWT QS: Al-Jaatsiyah [45]: 13, sebagaimana berikut:

وَسَخَّرَ لَكُمْ مَّا فِي السَّمَوَاتِ وَمَا فِي الْأَرْضِ جَمِيعًا مِنْهُ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَاتٍ لِقَوْمٍ يَتَفَكَّرُونَ ﴿١٣﴾

Artinya: “Dia telah menundukkan (pula) untukmu apa yang ada di langit dan apa yang ada di bumi semuanya (sebagai rahmat) dari-Nya. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi kaum yang berpikir”.

Menurut Tafsir as-Sa'di (2016), *سَخَّرَ* bahwa atas izin Allah SWT yang menundukkan semua yang di langit dan di bumi untuk kepentingan manusia. Lalu, tugas manusia dengan mencurahkan segala pikiran dan daya upaya. Tafsir Al-Muyassar (2016), *السَّمَوَاتِ وَمَا فِي الْأَرْضِ* (*apa yang ada di langit dan apa yang ada di bumi*) bahwa Allah SWT pemilik segala hal berupa matahari, bintang, bulan, hewan, pohon, dan lain-lain, untuk direnungkan dan diambil manfaatnya sebagai tanda kebesaran Allah SWT. Secara implisit bahwa dengan kuasa Allah SWT sinar Gamma dapat digunakan manusia dalam pemuliaan tanaman untuk meningkatkan produktivitas dan kualitas nutrisi tanaman kedelai demi kemaslahatan umat manusia dengan tujuan yang baik.

Menurut Fatwa MUI (2013), upaya pemuliaan tanaman (rekayasa genetika) merupakan hasil dari kemajuan teknologi ilmu pengetahuan, dari tahun ke tahun ilmu pengetahuan akan semakin berkembang dan ditambah kebutuhan manusia yang semakin meningkat, dalam hal tersebut perkembangan ilmu tidak dapat dihindari. MUI dalam ketentuan hukumnya memandang rekayasa genetika dengan hukum *mubah* (boleh) dengan syarat melakukan rekayasa genetika terhadap hewan, tumbuhan, dan mikroba yang bertujuan untuk kemaslahatan, tidak membahayakan (tidak menimbulkan mudharat), baik bagi manusia dan lingkungan) serta tumbuh-tumbuhan hasil rekayasa genetika halal dan boleh digunakan untuk keperluan pangan maupun obat.

Pada penelitian ini menggunakan beberapa dosis sinar Gamma untuk memunculkan mutasi, sehingga terjadi perubahan genetik pada tanaman kedelai.

Allah SWT berfirman dalam QS: Al-Qamar [54]: 48, sebagai berikut:

يَوْمَ يُسْحَبُونَ فِي النَّارِ عَلَىٰ وُجُوهِهِمْ ذُقُوا مَسَّ سَقَرٍ ﴿٤٨﴾

Artinya: “*Pada hari (ketika) mereka diseret ke neraka dengan wajah (tertelungkup), (dikatakan kepada mereka,) “Rasakanlah sentuhan (api neraka) Saqar.”*”

Berdasarkan tafsir Ibnu Katsir, ayat di atas menjelaskan bahwa segala sesuatu yang diciptakan oleh Allah SWT selalu sesuai dengan porsinya, tidak berlebih maupun kurang, segala sesuatu sesuai dengan kapasitas serta fungsinya yang dapat dijadikan sebagai petunjuk akan ketetapanannya bahwa segala sesuatu tidak boleh berlebihan maupun kurang. Dengan ini dapat dijadikan petunjuk ilmu Allah terhadap segala sesuatu dengan ketentuan masing-masing yang sesuai dengan ukurannya (Abdullah, 2004).

Hal ini selaras dengan hasil penelitian, pemberian dosis 200 Gy mampu meningkatkan kandungan total fenol dan isoflavon genistein kedelai mutan sebanyak 414,786 ppm dan 0,0348 %. Sedangkan pemberian dosis 400 gy mampu meningkatkan kandungan protein dan flavonoid kedelai mutan sebanyak 41,49 % dan 48,2195 ppm. Pemberian dosis yang optimal dapat meningkatkan kandungan nutrisi kedelai mutan hasil iradiasi sinar Gamma (Ghasemi *et al.*, 2025).

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Kesimpulan dari hasil penelitian ini adalah:

1. Kandungan protein dari mutan kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) generasi M1 varietas Dega 1 hasil iradiasi sinar Gamma menunjukkan adanya peningkatan pada dosis 400 Gy yaitu sebesar 41,49 %.
2. Kandungan lemak dari mutan kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) generasi M1 varietas Dega 1 hasil iradiasi sinar Gamma menunjukkan adanya peningkatan pada dosis 200 Gy yaitu sebesar 16,86%.
3. Kandungan total fenol dan flavonoid dari mutan kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) generasi M1 varietas Dega 1 hasil iradiasi sinar Gamma menunjukkan adanya peningkatan. Peningkatan kandungan total fenol pada dosis 400 Gy, yaitu sebesar 441,003 ppm dan peningkatan kandungan flavonoid yaitu sebesar 48,2195 ppm. Sedangkan peningkatan kandungan isoflavon genistein pada dosis 200 Gy yaitu sebesar 0,0348 %.

#### **5.2 Saran**

Saran untuk penelitian ini adalah dapat dilakukan penelitian lanjutan dengan melakukan penyeleksian hingga generasi M2 dan rekomendasi dosis iradiasi sinar Gamma sebesar 200 Gy untuk kandungan lemak dan isoflavon genistein pada mutan kedelai.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah bin Muhammad bin Abdurrahman bin Ishaq Al Syaikh. 2004. *Tafsir Ibnu Katsir Jilid 7*. Terjemahan. M. Abdul Ghoffar. Jakarta: Pustaka Imam Asy-Syafi'i. Hal. 614.
- Abdullah, M. 2007. *Tafsir Ibnu Katsir Jilid 5*. Bogor: Pustaka Imam Asy-Syafi'i.
- Agrawal, L., Manish, K. 2021. Improvement in Ornamental, Medicinal, and Aromatic Plants through Induced Mutation. *Journal of Applied Biology & Biotechnology*. Vol. 9(04).
- Akashi, T., Aoki, T., & Ayabe, S. (2005). Biosynthesis of isoflavonoids in leguminous plants: Functional enzymes and genetic engineering. *Journal of Plant Research*, 118(3), 131–139.
- Ali, H., Ghori, Z., Sheikh, S., & Gul, A. 2015. Effects of Gamma Radiation on Crop Production. *Crop production and global environmental issues*. 27-78.
- Akash, M. S. H., Rehman, K., Akash, M. S. H., & Rehman, K. 2020. Ultraviolet-visible (UV-VIS) spectroscopy. *Essentials of pharmaceutical analysis*, 29-56.
- Anbarasan, S., Vennila, S., & Ganesh, S. K. (2013). Gamma radiation induced variability in groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *International Journal of Agricultural Science and Research*, 3(3), 1–10.
- Andini, S, N., Nurman, A, H., Ari, W. 2020. Viabilitas dan Vigor Benih Kedelai Hitam (*Glycine max* (L.) Merril) Hasil Iradiasi Sinar Gamma. *Jurnal Planta Simbiosis*. Vol 2(2).
- Andriani, D. dan Murtisiwi, L. 2018. Penetapan kadar fenolik total ekstrak etanol bunga telang (*Clitoria ternatea* l.) dengan spektrofotometri uv-vis. *Cendekia Journal of Pharmacy*. 2(1), 32-8.
- Arifin, H. A., Hashiguchi, T., Nagahama, K., Hashiguchi, M., Mugerza, M., Sakakibara, Y., ... & Akashi, R. 2021. Varietal differences in flavonoid and antioxidant activity in Japanese soybean accessions. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, 85(4), 916-922.
- As-Sa'di, Muhammad bin Nashir. 2016. *Tafsir As-Sa'di*. Jawa Barat: Darul Haq.
- Badan Pusat Statistik. 2023. *Impor Kedelai Menurut Negara Asal Utama*. Jakarta: BPS Indonesia.

- Balitkabi. 2016. *Deskripsi Varietas Kedelai Unggul 1918-2016*. Laporan Balai Penelitian.
- Barela, A., Shrivastava, M. K., Mohare, S., Rahangdale, S., Jawarkar, S., Amrate, P. K., & Singh, Y. 2022. Morphological characterization and recognition of new traits of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill]. *International Journal of Environment and Climate Change*, 12(12), 1497-1504.
- Bhati, C., Minocha, N., Purohit, D., Kumar, S., Makhija, M., Saini, S., Kaushik, D., & Pandey, P. 2022. High Performance Liquid Chromatography : Recent Patents And Advancement. 15:729–746.
- Chang C. *et al.* 2002. Estimation of Total Flavonoid Content in Propolis by Two Complementary Colorimetric Methods. *J. Food Analysis*. 10: 178-182.
- Chen, Q., Wang, X., Yuan, X., Shi, J., Zhang, C., Yan, N., & Jing, C. 2021. Comparison of phenolic and flavonoid compound profiles and antioxidant and  $\alpha$ -glucosidase inhibition properties of cultivated soybean (*Glycine max*) and wild soybean (*Glycine soja*). *Plants*, 10(4), 813.
- Cheng, B., Wang, L., Liu, R., Wang, W., Yu, R., Zhou, T., ... & Yang, W. 2022. Shade-tolerant soybean reduces yield loss by regulating its canopy structure and stem characteristics in the maize–soybean strip intercropping system. *Frontiers in Plant Science*, 13, 848893.
- Choi, Y. M., Yoon, H., Lee, S., Ko, H. C., Shin, M. J., Lee, M. C., ... & Desta, K. T. 2020. Isoflavones, anthocyanins, phenolic content, and antioxidant activities of black soybeans (*Glycine max* (L.) Merrill) as affected by seed weight. *Scientific Reports*, 10(1), 19960.
- Choi, H.I.; Han, S.M.; Jo, Y.D.; Hong, M.J.; Kim, S.H.; Kim, J.B. 2021. Effects of Acute and Chronic Gamma Irradiation on the Cell Biology and Physiology of Rice Plants. *Plants*. 10, 439.
- Chun, H. C., Sanghun, L. E. E., Choi, Y. D., Gong, D. H., & Jung, K. Y. 2021. Effects of drought stress on root morphology and spatial distribution of soybean and adzuki bean. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(10), 2639-2651.
- Dai, S., Lian, Z., Qi, W., Chen, Y., Tong, X., Tian, T., ... & Jiang, L. 2022. Non-covalent interaction of soy protein isolate and catechin: Mechanism and effects on protein conformation. *Food Chemistry*, 384, 132507.
- Dalfiansyah, Zuyasna, Siti, H. 2016. Seleksi Mutan Generasi Kedua (M2) Kedelai Kipas Putih Terhadap Produksi dan Kualitas Biji yang Tinggi. *Jurnal Agrista*. 20 (3).

- de Barros, E. A., Vladimir, E. C., Dayanne, F. B., Renata, B, dos Santos, C., Rogerio, L, V, & Fernando, B. 2019. Biochemical Characterization of Irradiated Soybean and Nutritional and Sensory Evaluation of Water-Soluble Soybean Extract. *SN Applied Sciences*. 1:1570.
- Duarte, G. T., Volkova, P. Y., Fiengo Perez, F., & Horemans, N. 2023. Chronic Ionizing Radiation of Plants: An Evolutionary Factor from Direct Damage to Non-Target Effects. *Plants*, 12(5): 1178.
- Dukariya, G., Shreya, S., Gaurav S., Anil, K. 2020. Soybean and Its Products: Nutritional and Health Benefits. *Journal of Nutritional Science and Healthy Diet*. 1:2.
- Farkhad, S.A, Abdolkarim H. 2020. Effect of Gamma Irradiation on Antioxidant Potential, Isoflavone Aglycone and Phytochemical Content of Soybean (*Glycine max* L. Merrill) Cultivar Williams. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 324:497-505.
- Feng, Z., Du, Y., Chen, J., Chen, X., Ren, W., Wang, L., & Zhou, L. 2023. Comparison and characterization of phenotypic and genomic mutations induced by a carbon-ion beam and gamma-ray irradiation in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). *International Journal of Molecular Sciences*, 24(10), 8825.
- Gaikwad, K. B., Sakhare, S. D., Ghatge, R. D., & Bapat, V. A. (2015). Gamma rays induced variability studies in soybean [*Glycine max* (L.) Merrill]. *International Journal of Advanced Research*, 3(4), 1035–1042.
- Ghareeb YE, Soliman SS, Ismail TA, Hassan MA, Abdelkader MA, Abdel Latef AAH, Al-Khayri JM, Alshamrani SM, Safhi FA, Awad MF, El-Moneim DA, Hassanin AA. 2022. Improvement of German Chamomile (*Matricaria recutita* L.) for mechanical harvesting, high flower yield and essential oil content using physical and chemical mutagenesis. *Plants* 11:2940.
- Ghasemi, Ali, A, S. 2025. Determination of Optimal Gamma Radiation Dose for Mutation Breeding in ‘Sabz’ fig (*Ficus carica* L.) Cuttings based on Radiosensitivity and Phenotypic Changes. *PLOS ONE*. 20(1).
- Goyal, K., Singh, N., Jindal, S., Kaur, R., Goyal, A., & Awasthi, R. 2022. Kjeldahl method. *Adv. Tech. Anal. Chem*, 1, 105.
- Gonzalez-Mellado, D., Pastor, A., & Trapero-Mozos, A. (2014). Induced mutagenesis as a tool to improve oil composition in legumes. *Springer*. (pp. 181–198).
- Guan, Y., Hu, J., Wang, X., & Shao, C. (2009). Seed priming with polyethylene glycol induces antioxidant metabolism associated with drought tolerance in maize seedlings. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 195(3), 186–193.

- Gunamantha, I, M. 2023. Penentuan Kadar Lemak Pada Feses Ikan Kerapu Macan (*Epinephelus fuscoguttatus*) dengan Metode Gravimetri Menggunakan Pelarut Metanol-Kloroform. *IJACR*. 2(2).
- Guo, Y., Liu, C., Ye, R., & Duan, Q. 2020. Advances on water quality detection by uv-vis spectroscopy. *Applied Sciences*, 10(19), 6874.
- Handoyo S, M., Ruslin, R., Asriyanti, A., & Nurrohwiata Djuwarno, E. 2020. Identifikasi Jamu Yang Beredar Di Kota Kendari Menggunakan Metode Spektrofotometri Uv-Vis. *Journal Syifa Sciences and Clinical Research*, 2(2), 65–72.
- Hasnaeni, Wisdawati, and Usman, S., 2019. Pengaruh Metode Ekstraksi Terhadap Rendemen dan Kadar Fenolik Ekstrak Tanaman Kayu Beta-Beta (*Lunasia amara Blanco*). *Jurnal Farmasi Galenika (Galenika Journal of Pharmacy) (e-Journal)*, 5(2), 175–182
- Helk, O., & Widhalm, K. 2020. Effects of a low-fat dietary regimen enriched with soy in children affected with heterozygous familial hypercholesterolemia. *Clinical nutrition ESPEN*, 36, 150-156.
- Hu, C.; Wong, W.T.; Wu, R.; Lai, W.F. 2020. Biochemistry and use of soybean isoflavones in functional food development. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 60, 2098–2112.
- Hu, Y. Q., Sheng, Z. W., Liu, J. Y., Qi, L. I. U., Qiang, S., Song, X. L., & Biao, L. I. U. (2022). Sexual compatibility of transgenic soybean and different wild soybean populations. *Journal of Integrative Agriculture*, 21(1), 36-48.
- Hudaya, I. R., Hasna, V. L., Valensia, R., Hermawan, K. A., Hartati, H., Hasanah, F. F., & Aida, F. (2022). Metode Validasi Analisis Metamfetamin Dalam Sampel Biologis. *Syntax Admiration*, 3(4).
- Humaish, H., Hafudh, W., & Ismaael, B. 2020. Gravimetric Analysis of Oil pollution of Tigris River. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 888(1). IOP Publishing.
- Istiani, Y., Sri, H., Ari, P. 2015. Karakterisasi Senyawa Bioaktif Isoflavon dan Uji Aktivitas Antioksidan dari Ekstrak Etanol Tempe Berbahan Baku Koro Pedang (*Canava ensiformis*). *Biofarmasi* 13 (2): 50-58.
- Jia, F.; Peng, S.; Green, J.; Koh, L.; Chen, X. 2020. Soybean Supply Chain Management and Sustainability: A Systematic Literature Review. *J. Clean. Prod.* 255, 120254.

- Kang, Z. L., Xie, J. J., Li, Y. P., Song, W. J., & Ma, H. J. 2023. Effects of pre-emulsified safflower oil with magnetic field modified soy 11S globulin on the gel, rheological, and sensory properties of reduced-animal fat pork batter. *Meat Science*, 198, 109087
- Kapare, V.; Satdive, R.; Fulzele, D.P.; Malpathak, N. 2017. Impact of Gamma Irradiation Induced Variation in Cell Growth and Phytoecdysteroid Production in *Sesuvium portulacastrum*. *J. Plant Growth Regul.* 36, 919–930.
- Kim, I, S., Cheorl, H,K., Woong, S,Y. 2021. Physiologically Active Molecules and Functional Properties of Soybeans in Human Health-A Current Perspective. *International Journal of Molecular Sciences*. 22,4054.
- Khairun, M., Andriansyah, I., Emmawati, E., Kencama, U. B., No, J. S., Kidul, C., Panyileukan, K., & Barat, J. (2021). Review Jurnal : Analisis Kafein Pada Kopi Dengan Metode Kromatografi Cair Kinerja Tinggi ( Kckt ). *Review Journal : Analysis Of Caffeine In Coffee Using Hplc Method*. 6(1), 26–33.
- Ko, J.W.; Chung, Y.S.; Kwak, C.S.; Kwon, Y.H. 2019. Doenjang, a Korean traditional fermented soybean paste, ameliorates neuroinflammation and neurodegeneration in mice fed a high-fat diet. *Nutrients*. 11, 1702.
- Kováčik, J., Grúz, J., Biba, O., Hedbavny, J., & Strnad, M. (2009). Salicylic acid-induced changes to growth and phenolic metabolism in *Matricaria chamomilla* plants. *Plant Cell Reports*, 28(1), 135–143.
- Król-Grzymała, A., & Amarowicz, R. 2020. Phenolic compounds of soybean seeds from two European countries and their antioxidant properties. *Molecules*, 25(9), 2075.
- Kroll, F., Brack, F. E., Bernert, C., Bock, S., Bodenstein, E., Brüchner, K. & Beyreuther, E. (2022). Tumour irradiation in mice with a laser-accelerated proton beam. *Nature Physics*, 18(3), 316-322.
- Kudelka, W., Malgorzata K., Marzena P. 2021. Quality of Soybean Products in Terms of Essential Amino Acids Composition. *Molecules*. 26,5071.
- Kuligowski, M., Sobkowiak, D., Polanowska, K., & Jasińska-Kuligowska, I. 2022. Effect of different processing methods on isoflavone content in soybeans and soy products. *Journal of Food Composition and Analysis*, 110, 104535.
- Lau, Y.S., Chew, M.T., Alqathani, A., Jones, B., Hill, M. A., Nisbet, A., & Bradley, D. A. 2021. Low dose ionising radiation-induced hormesis: therapeutic implications to human health. *Applied Sciences*, 11(19):909.

- Lee, J. S., Kim, H. S., & Hwang, T. Y. 2021. Variation in protein and isoflavone contents of collected domestic and foreign soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) germplasms in Korea. *Agriculture*, 11(8), 735.
- Lestari, E. G. 2016. *Pemuliaan Tanaman Melalui Induksi Mutasi dan Kultur In Vitro*. Jakarta: IAARD Press.
- Lewidharti, R. S., Soetjipto, H., & Andini, S. 2015. *Dinamika Konsentrasi Genistein Dalam Proses* ISBN : 978-602-73159-0-7.
- Li, S. (2014). Transcriptional control of flavonoid biosynthesis: fine-tuning of the MYB–bHLH–WD40 (MBW) complex. *Plant Signaling & Behavior*, 9(1).
- Li, B., Zhao, X., Zhang, Y., Zhang, S., & Luo, B. 2020. Prediction and monitoring of leaf water content in soybean plants using terahertz time-domain spectroscopy. *Computers and electronics in agriculture*, 170, 105239.
- Li, F., Shao, Y. P., Ejaz, I., Chen, Z. Y., Wang, Z. W., Wang, X., & Zhou, S. L. 2025. A morphological and anatomical study for tracking the growth and development of individual flowers and pods in soybean (*Glycine max* L.). *The Crop Journal*.
- Lilik, H. Yulidar. 2015. Pengaruh Iradiasi Sinar Gamma Terhadap Pertumbuhan Awal Tanaman Kedelai (*Glycine max* (L.) Merril) Varietas Denna 1. *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah-Penelitian dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir*, hal 59-63.
- Ludovici, G.M., de Souza, S.O., Chierici, A., Cascone, M.G., d'Errico, F., & Malizia, A. 2020. Adaptation to ionizing radiation of higher plants: From environmental radioactivity to chernobyl disaster. *Journal of Environmental Radioactivity*, 222: 106375
- Makhziah, S. Koentjoro. 2017. Effect of <sup>60</sup>Co Radiation to Morphology and Agronomic of Three Maize Cultivar (*Zea mays* L.). *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 22(1), 41-45.
- Mba, C & Shu, Q.Y. 2011. Gamma Irradiation. Di dalam: Shu Q.Y., Forster, B.P., Nakagawa, H. Editor. *Plant Mutation Breeding and Biotechnology*. London (GB): CAB International and FAO.
- Mierza, V., Fitri A., Hajar, H., Herdiana, V., Nisa, A.Z., Rika V. 2023. Analisis Berbagai Metode Identifikasi Isoflavon: *Literature Review*. *Journal of Pharmaceutical and Sciences*. 6:1.
- Mohsen, G., Said, S, S., Elsayed, I, M., Tarik, A, I., elsayed, M., Khairiah, M, A., Fatmah, A, S., Diao, A, E., Rahma, A., Osama, O, A., Wael, F, S, & Abdallah, A, H. 2023. Gamma-rays Induced Mutations Increase Soybean Oil and Protein Contents. *PeerJ*.11:16395.

- Moldoveanu, S. C., & David, V. 2022. *Essentials in modern HPLC separations*. Elsevier.
- Moradi, M., Daneshzad, E., & Azadbakht, L. 2020. The effects of isolated soy protein, isolated soy isoflavones and soy protein containing isoflavones on serum lipids in postmenopausal women: A systematic review and meta-analysis. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(20), 3414-3428.
- MUI. 2013. *Fatwa MUI 35 Tahun 2013 Tentang Rekayasa Genetika dan Produknya*. Jakarta : MUI
- Nabulsi, I. M., Al-Shawabkeh, A. F., & Humeid, A. A. (2011). The effect of gamma irradiation on fatty acids composition in two soybean (*Glycine max*) cultivars. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 14(10), 585–589
- Ningtyas, D. W., Tam, B., Bhandari, B., & Prakash, S. 2021. Effect of different types and concentrations of fat on the physico-chemical properties of soy protein isolate gel. *Food Hydrocolloids*, 111, 106226.
- Nobre, C. D. A., Salezzi Bonfá, C., Ferreira da Silva, A., Arthur, V., & Sigueyuki Sedyama, C. 2022. Soybean generations under gamma rays and effects on seed quality. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 38(3), 287-296.
- Nusantara, A, D., Yudhi, H, B., Ahmad, J., Hesti, P, & Hartal. 2019. Pemanfaatan Mikroba untuk Meningkatkan Pertumbuhan dan Hasil Kedelai di Tanah Pesisir. *JUPI*. 2(1):37-43.
- Pratiwi, R. A., & Nandiyanto, A. B. D. 2022. How to read and interpret UV-VIS spectrophotometric results in determining the structure of chemical compounds. *Indonesian Journal of Educational Research and Technology*, 2(1), 1-20.
- Rahmat, R. W. 2020. Identifikasi Jenis Biji Kedelai (*Glycine max* L.) Menggunakan Gray Level Coocurance Matrix (GLCM) dan K-Means Clustering. *JTIK*. 7 (1).
- Revelliani, A., Nisrina, H., & Sari, L. K. 2022. Metode Validasi Golongan Obat Beta Blocker Dalam Plasma Darah Manusia Menggunakan Metode HPLC. 2(1), 13–19.
- Rizzo, G.; Baroni, L. 2018. Soy, soy foods and their role in vegetarian diets. *Nutrients*, 10, 43.

- Riyadi, I., Mulyana, A., & Suharsono, S. (2015). Induksi mutasi dengan sinar gamma untuk meningkatkan kualitas protein pada tanaman kedelai (*Glycine max* L.). *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 20(2), 103–110.
- Rohmatulloh, D.M & Dwijayanto, A. 2021. Physics of Qur'an: Islamizing The Science and Its Contribution Towards Humanity. *Religio Education*. 1(2): 75-85.
- Saad, AM., Osman, AOM., Mohamed, AS, & Ramadan, MF. 2020. Enzymatic Hydrolysis of *Phaseolus vulgaris* Protein Isolate: Characterization oh Hydrolysates and Effect on The Quality of Minced Beef During Cold Storage. *International Journal of Peptide Research and Therapeutics*. 26:567-577.
- Sadeghi, F., Ghabooli, M., Fotovat, R., & Fazeli, A. (2013). Gamma radiation effects on phenolic compounds and antioxidant activity in different plant tissues of *Nigella sativa*. *International Journal of Radiation Biology*, 89(4), 323–329.
- Sam, S., Malik, A., and Handayani, S., 2016. Penetapan Kadar Fenolik Total Dari Ekstrak Etanol Bunga Rosella Berwarna Merah (*Hibiscus sabdariffa* L.) dengan Menggunakan Spektrofotometri UV-Vis. *Jurnal Fitofarmaka Indonesia*, 3(2), 182–187.
- Sathish, S., Vishnupriya, S., & Anbuselvam, Y. (2018). Effect of gamma rays on biochemical and antioxidant properties of soybean (*Glycine max* L.). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 16, 430–436.
- Shahbaz, M., Javed, M. A., & Khan, I. A. (2011). Screening of gamma irradiated soybean genotypes for protein content. *International Journal of Agriculture and Biology*, 13(5), 785-789.
- Shi, Z., Chow, C. W., Fabris, R., Liu, J., & Jin, B. 2022. Applications of online UV-Vis spectrophotometer for drinking water quality monitoring and process control: a review. *Sensors*, 22(8), 2987.
- Shihab, Quraish M. 2002. *Tafsir Al-Misbah Pesan Kesan & Keserasian Al-Qur'an*. Jakarta: Lentera Hati. Hal. 75-195.
- Shihab, M. Q. 2007. *Tafsir Al-Mishbah: Pesan, Kesan dan Keserasian Al-Qur'an*. Jakarta: Lentera Hati.
- Shilpashree, N., Sarojinikunjamma, N, D., Dalasnuru, C, M., Anjanappa, M., Shaimaa, A.M., Abdelmohsen., Nissren, T., Hosam, O, E., Tarek, K., Zin, E., Ashraf, M., M, Abdelbacki, & Veerabhadregowda J. 2021. Morphological Characterization, Variability and Diversity among Vegetable Soybean (*Glycine max* L.) Genotypes. *Plants*.10:671.

- Shraim, A. M., Ahmed, T. A., Rahman, M. M., & Hijji, Y. M. 2021. Determination of total flavonoid content by aluminum chloride assay: A critical evaluation. *Lwt*, 150, 111932.
- Sobrizal. 2016. Potensi Pemuliaan Mutasi untuk Perbaikan Varietas Padi Lokal Indonesia. *Jurnal Ilmiah Isotop dan Radiasi*, 12(1):23-26.
- Sugiantari, W., Agung, A, C, W., Dewa, A, I, P. 2023. Analisis Kadar Lemak dan Kadar Air pada Simplisia Biji Kakao (*Theobroma cacao* L.) Desa Gumbrih, Kecamatan Pakutatatan, Kabupaten Jembrana. *USADHA*. 20 (4).
- Sui, X., Zhang, T., & Jiang, L. 2021. Soy protein: Molecular structure revisited and recent advances in processing technologies. *Annual Review of Food Science and Technology*, 12(1), 119-147.
- Sulistiyowati, E., Martono, S., Riyanto, S., Lukitaningsih, E., Farmasi, S., Tinggi Ilmu Farmasi, S., Pharmasi Semarang, Y., & Letnan Jendral Sarwo Edie Wibowo Km, J. 2018. Analisis Daidzein dan Genistein pada Kedelai (*Glycine max* l. Merrill) Varietas Anjasmoro, Argomulyo dan Dena 2 Menggunakan Metode KCKT. *Media Farmasi Indonesia*, 13(1), 1299–1304.
- Sunarti. 2021. *Antioksidan Dalam Penanganan Sindrom Metabolik* (H. Prasetyo, Ed.). D.I. Yogyakarta.
- Szymczak, G., Wójciak-Kosior, M., Sowa, I., Zapała, K., Strzemski, M., & Kocjan, R. 2017. Evaluation of isoflavone content and antioxidant activity of selected soy taxa. *Journal of Food Composition and Analysis*, 57, 40–48.
- Thapa, M., Yadav, R. S., & Bhandari, H. N. (2021). Improving nutritional quality of crops through induced mutation. *Plant Breeding and Genetics*, 10, 1-15.
- Utami, R., Fernando, A., Sari, I. P., & Furi, M. 2017. Penetapan Kadar Berberin Dari Ekstrak Etanol Akar Dan Batang Sekunyit (*Fibraurea Tinctoria Lour*) Dengan Metode Kckt. *Jurnal Sains Farmasi & Klinis*, 3(2), 115.
- Vasudevan, S., Dhanarajan. A., Kasim, Y., Sankar, V., Balasubramani, G., Gurunatan, S & Raina, A. 2023. Evaluation of Mirphophysiological, Biocgemical and Antioxidant Activity of Green Gram (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek) in Response to Gamma Irradiation. *Plant Science Today*. 1-13.
- Vorobey, N., Kateryna, K., Petro, P, & Tetyana, K. 2022. Symbiotic and Physiological Indicators of Soybean Inoculated of *Bradyrhizobium japonicum* Single-strain in 7 Days Before Sowing. *Acta agriculturae Slovenica*. 118/2.
- Wahid, R. A. H. 2020. Analisis Kualitatif Dan Kuantitatif Tanin Ekstrak Kulit Buah Delima Putih (*Punica granatum* L.) Menggunakan Metode

Kromatografi Cair Kinerja Tinggi (KCKT). *Indonesian Journal Of Pharmacy And Natural Product*, 3(2).

- Wang, L.; Wu, J.; Lan, F.; Gao, P. 2020. Morphological, Cytological and Molecular Variations Induced by Gamma Rays in Chrysanthemum Morifolium 'Donglinruixue'. *Folia Horti*. 2020, 32, 87–96.
- Wang, W., Xue, C & Mao, X. 2020. Radioprotective Effect and Mechanisms of Animal, Plant, and Microbial Polysaccharides. *International Journal of Biological Macromoleculs*. 153: 373-384.
- Wang, Y., Anqi, Z., Yixiao, W., Xibo, W., Ning, X., & Lianzhou, J. 2020. Effects of Irradiation on The Structure and Properties of Glycosylated Soybean Proteins. *Food & Function*. 11(2):1635-1646.
- Wang, S. Y., Zhang, Y. J., Zhu, G. Y., Shi, X. C., Chen, X., Herrera-Balandrano, D. D., ... & Laborda, P. 2022. Occurrence of isoflavones in soybean sprouts and strategies to enhance their content: A review. *Journal of Food Science*, 87(5), 1961-1982.
- Wi, S. G., Chung, B. Y., Kim, J. H., Kim, J. S., & Baek, M. H. (2007). Effect of gamma irradiation on the biosynthesis of phenolic compounds and antioxidant activity in soybean. *Radiation Physics and Chemistry*, 76(6), 1011–1015
- Wirasi, D. E. L., Lina, B., Dulbari., & Joko, R. 2024. Produksi Lima Varietas Kedelai (*Glycine max* L.) di Instansi Penelitian dan Pengkajian Teknologi Pertanian (IP2TP) Jambegede Malang. *Jurnal Planta Simbiosia*. 6 (1):20-28.
- Yang, Z., Zhang, Z., & Chen, H. (2018). Molecular mechanisms of plant response to gamma radiation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(48), 12693-12702.
- Yang, M., Xiaoqing, H., Jiabei, X., Shangqing, Z., Zhaoyang, L., Boya, L., Liming, S., Kecheng, Z, & Beibei, G. 2022. Field Application of Wuyiencin Against Sclerotina Stem Rot in Soybean. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 6.
- Yu, X.; Meenu, M.; Xu, B.; Yu, H. 2021. Impact of processing technologies on isoflavones, phenolic acids, and antioxidant capacities of soymilk prepared from 15 soybean varieties. *Food Chem*. 345, 128612.
- Yuwono, S.S. 2016. Kacang Kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill). Retrived from <http://darsatop.lecture.ub.ac.id/2016/01/kacang-kedelai-glycine-max-l/>. Diakses 29 Oktober 2024.

- Zahran, H. E. M., Rady, M. M., & Abu El-Ela, F. M. (2019). Gamma irradiation induces changes in growth, isoflavones, and antioxidant activity of soybean (*Glycine max* L.) seedlings. *Applied Radiation and Isotopes*, 147, 140–147.
- Zhang, P., Du, H., Wang, J., Pu, Y., Yang, C., Yan, R., ... & Yu, D. 2020. Multiplex CRISPR/Cas9-mediated metabolic engineering increases soya bean isoflavone content and resistance to soya bean mosaic virus. *Plant biotechnology journal*, 18(6), 1384-1395.
- Zaka, R., Chenal, C., & Misset, M. T. (2002). Effects of gamma-rays on growth and antioxidant enzyme activities in *Arabidopsis thaliana*. *Journal of Environmental Radioactivity*, 62(1), 41–52.
- Zhang, T., Dou, W., Zhang, X., Zhao, Y., Zhang, Y., Jiang, L., & Sui, X. 2021. The development history and recent updates on soy protein-based meat alternatives. *Trends in Food Science & Technology*, 109, 702-710.

## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Hasil Analisis Kandungan Protein dengan Metode Kjeldahl Pada Mutan Kedelai Hasil Iradasi Sinar Gamma



**BRIN**  
BADAN RISET  
DAN INOVASI NASIONAL

#### DIREKTORAT PENGELOLAAN LABORATORIUM, FASILITAS RISET, DAN KAWASAN SAINS TEKNOLOGI

Gedung B.J. Habibie, Jalan M.H. Thamrin Nomor 8  
Jakarta Pusat 10340  
Telp/WA: 0811 8612 392, E-mail: dit-plfrkst@brin.go.id  
[www.brin.go.id](http://www.brin.go.id)

**No. ID ELSA** : 189680/LT/LB/11/2024  
*Transaction Number*

**Metode** : Kjeldahl  
*Method*

**Nama Laboratorium** : Laboratorium Bioteknologi – BRIN  
*Laboratory name*

**Alamat Laboratorium** : Gedung 630, Kawasan Sains dan Teknologi B. J Habibie – BRIN  
*Laboratory Address* Setu- Tangerang Selatan, Banten – Indonesia 15314  
Email : [layananbiotekbrin@gmail.com](mailto:layananbiotekbrin@gmail.com) ; Telp +62 858 8263 0877

**Kondisi Pengukuran/Parameter Pengujian** *Measurement Conditions/Testing Parameters:*  
Kadar Protein

**Hasil Pengujian** *Testing Results :*

**Link URL** *Url link*

<https://data.brin.go.id/privateurl.xhtml?token=b79eas36-c387-4523-82db-5727907ae7fd>

No. Urut	Kode Sampel	Jenis Bahan	Bentuk	Parameter	Hasil	Satuan
1	Control	Biji Kedelai	Padat	Kadar Protein	40,65	%
2	200 Gray	Biji Kedelai	Padat	Kadar Protein	39,01	%
3	400 Gray	Biji Kedelai	Padat	Kadar Protein	41,49	%

**Catatan** *Note:*

Data hasil pengujian yang autentik adalah data yang berada di Repositori Ilmiah Nasional (RIN) BRIN yang dapat diakses melalui *link url* yang tertera pada bagian hasil pengujian lembar ini. *Link url* bersifat unik dan hanya diberikan untuk pengguna hasil uji yang tertera pada laporan hasil uji.

Daftar sampel uji terdapat di lembar pengesahan.

Penamaan sampel sesuai dengan penamaan pada saat permohonan pengajuan layanan

Terima kasih sudah melakukan pengujian/penyewaan alat/proses riset dengan fasilitas yang tersedia di Laboratorium Bioteknologi-BRIN. Jika dikemudian hari hasil pengujian atau analisis ini akan dipublikasikan, mohon kiranya bisa menambahkan dalam Ucapan Terima Kasih atau *Acknowledgement* di dalam publikasi Anda seperti dalam contoh format berikut:

**Dalam bahasa Indonesia:** "Penelitian ini didukung oleh fasilitas riset, dukungan ilmiah serta teknis dari Laboratorium Bioteknologi di Badan Riset dan Inovasi Nasional melalui E-Layanan Sains-BRIN".

**Dalam bahasa Inggris:** "The research is supported by the facilities, scientific and technical support from Laboratory for Biotechnology, National Research and Innovation Agency through E- Layanan Sains-BRIN.

## Lampiran 2. Hasil Analisis Kandungan Lemak dengan Metode Gravimetri Pada Mutan Kedelai Hasil Iradiasi Sinar Gamma



### DIREKTORAT PENGELOLAAN LABORATORIUM, FASILITAS RISET, DAN KAWASAN SAINS TEKNOLOGI

Gedung B.J. Habibie, Jalan M.H. Thamrin Nomor 8  
Jakarta Pusat 10340  
Telp/WA: 0811 8612 392, E-mail: dit-plfrkst@brin.go.id  
[www.brin.go.id](http://www.brin.go.id)

**No. ID ELSA** : 189682/LT/LB/11/2024  
*Transaction Number*

**Metode** : Gravimetri  
*Method*

**Nama Laboratorium** : Laboratorium Bioteknologi – BRIN  
*Laboratory name*

**Alamat Laboratorium** : Gedung 630, Kawasan Sains dan Teknologi B.J. Habibie – BRIN  
*Laboratory Address* Setu- Tangerang Selatan, Banten – Indonesia 15314  
Email : [layananbiotekbrin@gmail.com](mailto:layananbiotekbrin@gmail.com) ; Telp +62 858 8263 0877

**Kondisi Pengukuran/Parameter Pengujian** *Measurement Conditions/Testing Parameters:*  
Kadar Lemak

**Hasil Pengujian** *Testing Results :*

**Link URL** *Url link*

<https://data.brin.go.id/privateuri.xhtml?token=01a3b8ab-fd70-474b-a917-326600084fde>

No. Urut	Kode Sampel	Jenis Bahan	Bentuk	Parameter	Hasil	Satuan
1	Control	Biji Kedelai	Padat	Kadar Lemak	16,11	%
2	200 Gray	Biji Kedelai	Padat	Kadar Lemak	16,86	%
3	400 Gray	Biji Kedelai	Padat	Kadar Lemak	16,72	%

**Catatan** *Note:*

Data hasil pengujian yang autentik adalah data yang berada di Repositori Ilmiah Nasional (RIN) BRIN yang dapat diakses melalui *link url* yang tertera pada bagian hasil pengujian lembar ini. *Link url* bersifat unik dan hanya diberikan untuk pengguna hasil uji yang tertera pada laporan hasil uji.

Daftar sampel uji terdapat di lembar pengesahan.

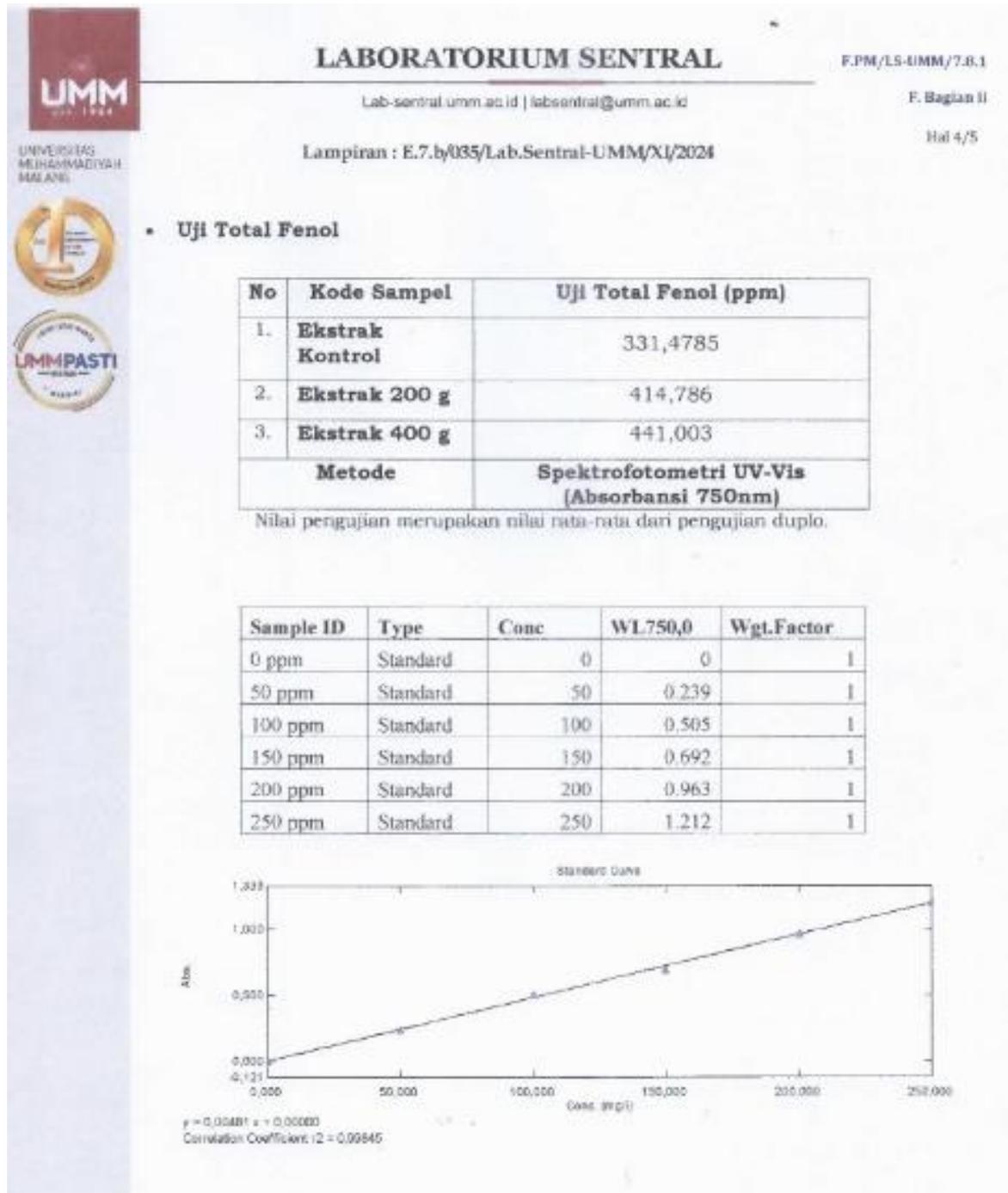
Penamaan sampel sesuai dengan penamaan pada saat permohonan pengajuan layanan

Terima kasih sudah melakukan pengujian/penyewaan alat/proses riset dengan fasilitas yang tersedia di Laboratorium Bioteknologi-BRIN. Jika dikemudian hari hasil pengujian atau analisis ini akan dipublikasikan, mohon kiranya bisa menambahkan dalam Ucapan Terima Kasih atau *Acknowledgement* di dalam publikasi Anda seperti dalam contoh format berikut:

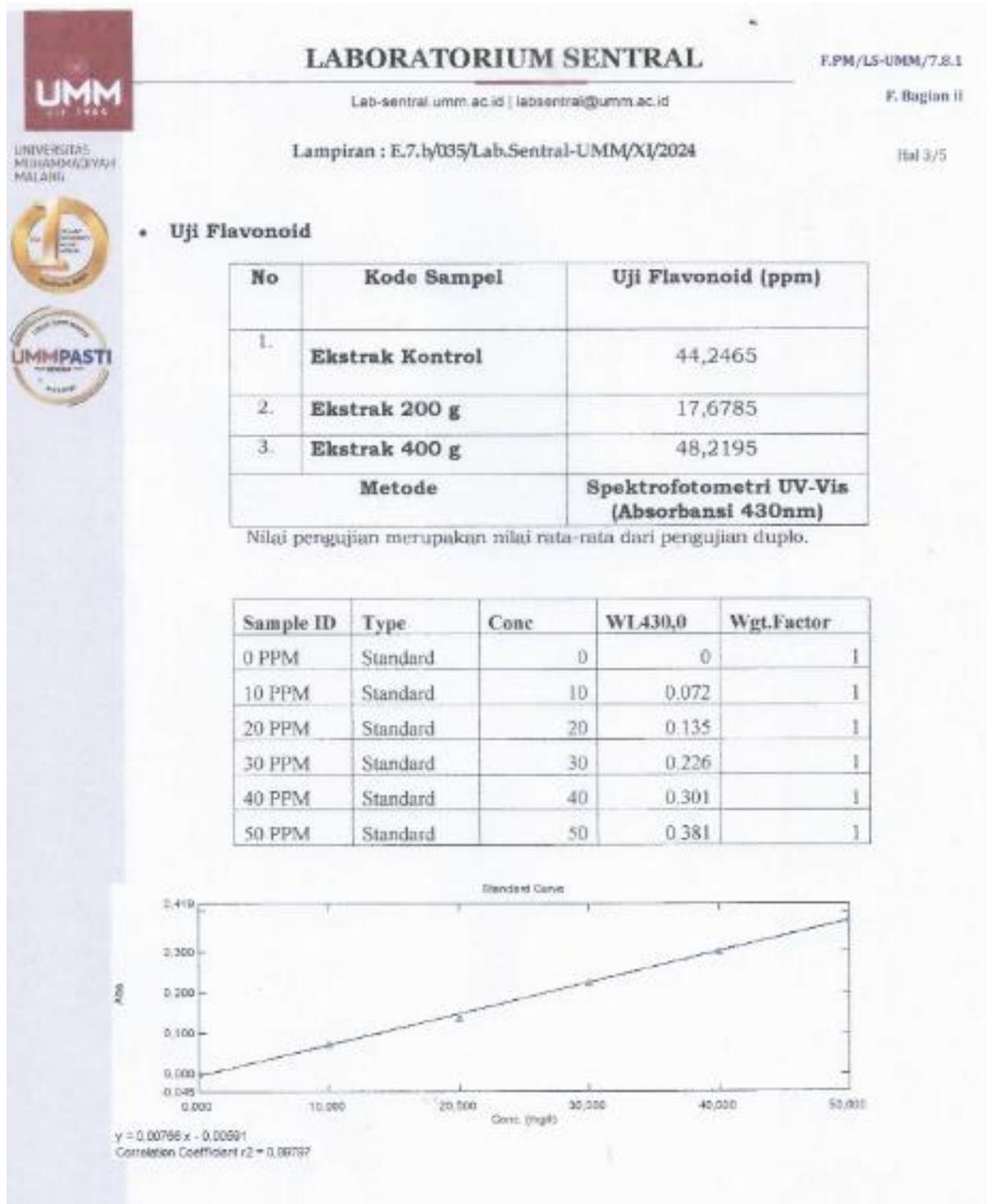
**Dalam bahasa Indonesia:** "Penelitian ini didukung oleh fasilitas riset, dukungan ilmiah serta teknis dari Laboratorium Bioteknologi di Badan Riset dan Inovasi Nasional melalui E-Layanan Sains-BRIN".

**Dalam bahasa Inggris:** "The research is supported by the facilities, scientific and technical support from Laboratory for Biotechnology, National Research and Innovation Agency through E- Layanan Sains-BRIN.

**Lampiran 3.** Hasil Analisis Kandungan Total Fenol dengan Metode Spektrofotometri UV-Vis Pada Mutan Kedelai Hasil Iradiasi Sinar Gamma



**Lampiran 4.** Hasil Analisis Kandungan Flavonoid dengan Metode Spektrofotometri UV-Vis Pada Mutan Kedelai Hasil Iradiasi Sinar Gamma



**Lampiran 5. Hasil Analisis Kandungan Isoflavon Genistein dengan Metode HPLC Pada Mutan Kedelai Hasil Iradiasi Sinar Gamma**



**Laboratorium Kimia - FSM**  
**Universitas Kristen Satya Wacana**  
 Jl. Diponegoro 52 – 60 Salatiga 50711  
 Telp. 0298 321212; Fax 0298 321433

### REPORT ANALYSIS

No. 251301208/LAB-KIM/FSM/UKSW

**Customer** : Evika Sandi Savitri      **Sampel** : ekstrak biji kedelai menggunakan pelarut etanol 70%  
**CP** : 0895342415950      **Tgl terima** : 13 Januari 2025  
**Analisis** : Lutyono, S.Si.      **Analisa** : Kadar Genistein

SAMPel	HASIL
	(% w/w)
A Ekstrak Kontrol	0.0016
B Ekstrak gy 200	0.0348
C Ekstrak gy 400	0.0063

Keterangan :  
 Data pengukuran(kromatogram) dan perhitungan terlampir

Salatiga, 20 Januari 2025

Kepala Laboratorium



Dr. Yohanes Mantoro, S. Si. Sc.

#### Kadar Genistein

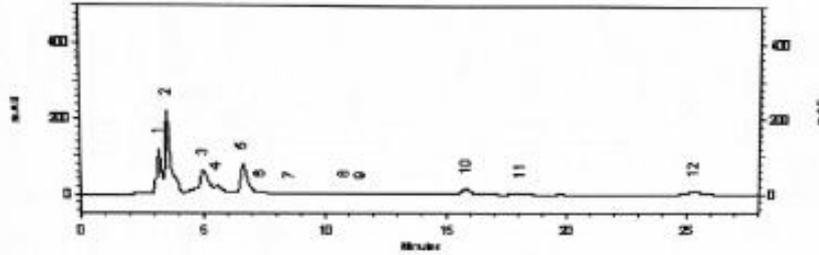
Kode	Nama Sampel	Area	$y = 93265x + 230834$	
			[ $\mu\text{g/ml}$ ]	% w/w
A	Ekstrak kontrol	307379	0.820726	0.0016
B	Ekstrak 200 gy	1854789	17.41227	0.0348
C	Ekstrak 400 gy	523585	3.138916	0.0063

Keterangan :  
 Sampel uji = 5% w/v = 50000  $\mu\text{g/ml}$

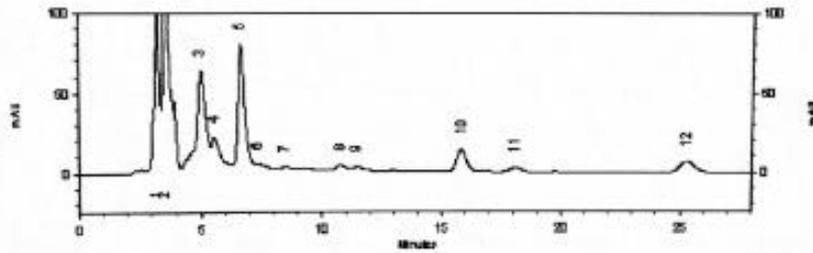
KROMATOGRAM

Sample ID : A  
 Run time : 1/17/2025 8:29:31 AM  
 Analysis time : 1/17/2025 3:16:07 PM  
 column : Vertex, Eurospher 100-5 C18, 250x4,6 mm (GJ95)  
 Temperature : 30 C  
 Mobile phase : Methanol : Acetic acid 0.1% (48 : 52), isocratic  
 Flowrate : 1 ml/minute, 18,3 MPa  
 Detector : UV 254 nm  
 Injection volume : 20 µl  
 Operator name : luty

Analysis graph :  
 AUTOSCALE



200X



UV Detector 2500

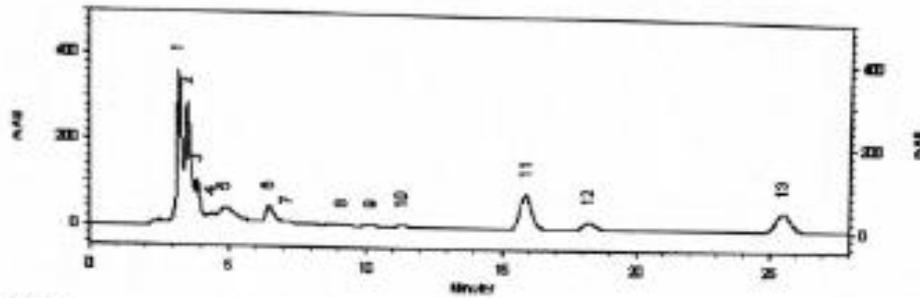
Results

Pk #	Name	Retention Time	Area
1		3.183	598214
2		3.517	2528296
3		4.983	1580724
4		5.533	486202
5		6.617	1490417
6		7.350	89427
7		8.483	54223
8		10.750	82190
9		11.433	70846
10		15.817	383585
11		18.067	82495
12	Genestein	25.300	307379

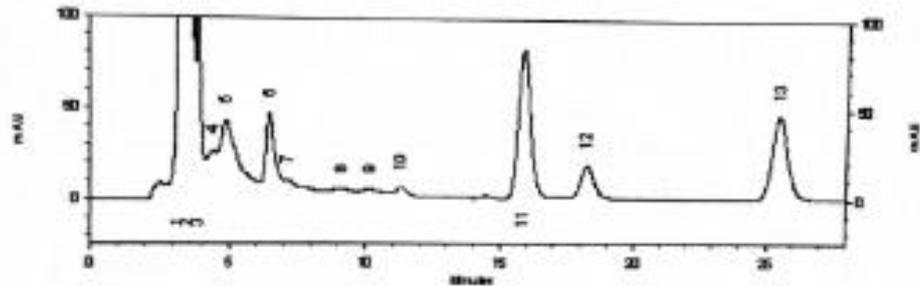
Totals			7753298
--------	--	--	---------

Sample ID : B  
 Run time : 1/17/2025 9:06:48 AM  
 Analysis time : 1/17/2025 3:12:21 PM  
 column : Vertex, Eurospher 100-5 C18, 250x4,6 mm (C295)  
 Temperature : 30 C  
 Mobile phase : Methanol : Acetic acid 0.1% (48 : 52), isocratic  
 Flowrate : 1 ml/minute, 18,3 MPa  
 Detector : UV 254 nm  
 Injection volume : 20 µl  
 Operator name : luty

Analysis graph :  
 AUTOSCALE



200X



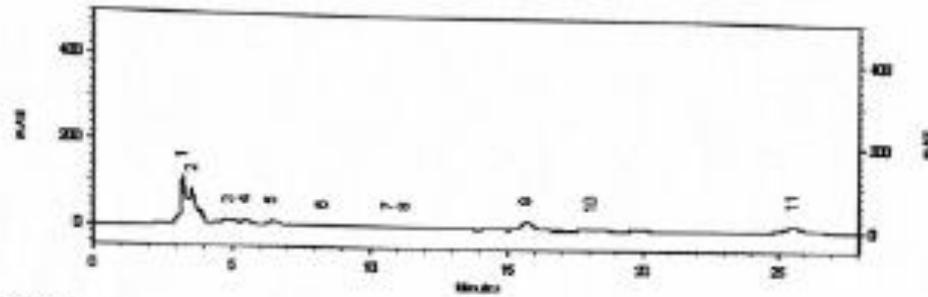
UV Detector 2500

Results

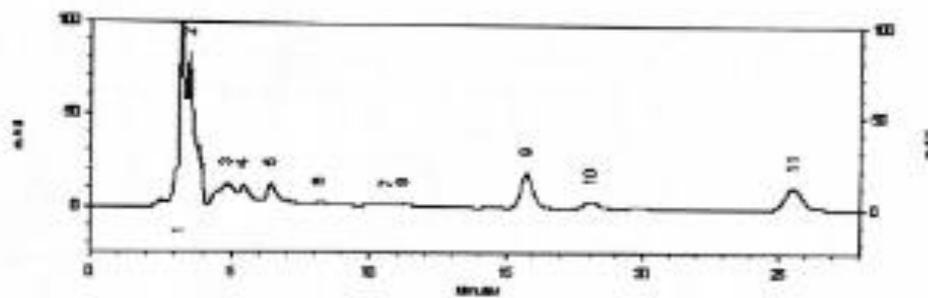
Pk #	Name	Retention Time	Area
1		3.200	3694197
2		3.517	3502527
3		3.867	716722
4		4.400	166429
5		4.867	917051
6		6.450	801494
7		7.133	91793
8		9.117	87734
9		10.150	121394
10		11.293	130355
11		15.867	2519918
12		18.233	668000
13	Genestein	25.483	1854789
Totals			15272403

Sample ID : C  
 Run time : 1/17/2025 9:36:33 AM  
 Analysis time : 1/17/2025 3:17:25 PM  
 Column : Vertex, Eurospher 100-5 C18, 250x4,6 mm (G395)  
 Temperature : 30 C  
 Mobile phase : Methanol : Acetic acid 0.1% (48 : 52), isocratic  
 Flowrate : 1 ml/minute, 18,3 MPa  
 Detector : UV 254 nm  
 Injection volume : 20 µl  
 Operator name : luty

Analysis graph :  
 AUTOSCALE



200%



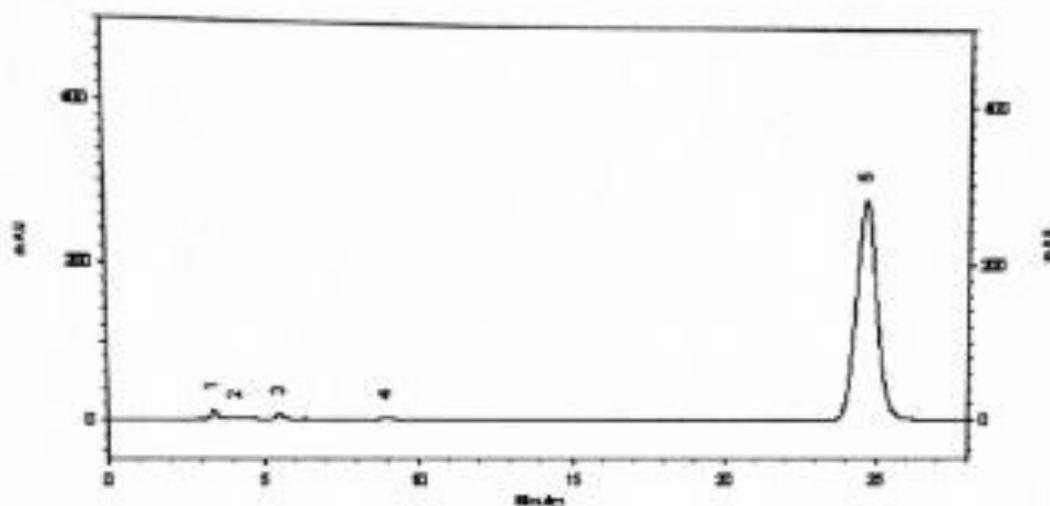
UV Detector 2500

Results

PK #	Name	Retention Time	Area
1		3.163	1025463
2		3.500	1285865
3		4.850	528401
4		5.423	911349
5		6.417	416755
6		8.217	99222
7		10.617	62309
8		11.217	77885
9		15.717	578151
10		18.067	143457
11	Genestein	25.533	523585
Totals			5052430

Sample ID : Marker genestein  
 Run time : 1/15/2025 11:55:05 AM  
 Analysis time : 1/17/2025 9:18:12 PM  
 column : Vertex, Eurospher 100-5 C18, 250x4,6 mm (GJ95)  
 Temperature : 30 C  
 Mobile phase : Methanol : Acetic acid 0.1% (40 : 60), isocratic  
 Flowrate : 1 ml/minute, 10,3 MPa  
 Detector : UV 254 nm  
 Injection volume : 20 µl  
 Operator name : luty

Analysis graph :  
 AUTOSCALE



UV Detector 2500

Results

PK #	Name	Retention Time	Area
1		3.350	160484
2		4.067	77660
3		5.433	144156
4		8.883	72126
5	Genestein	24.633	13348556
Totals			13803182

## Lampiran 6. Hasil Uji Deskriptif SPSS

- Protein

<b>Descriptive Statistics</b>					
	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Protein	3	39.01	41.49	40.3833	1.26132
Valid N (listwise)	3				

- Lemak

<b>Descriptive Statistics</b>					
	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Lemak	3	16.11	16.86	16.5633	.39879
Valid N (listwise)	3				

- Total Fenol

<b>Descriptive Statistics</b>					
	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Total Fenol	3	331.478	441.003	399.08900	59.111617
Valid N (listwise)	3				

- Flavonoid

<b>Descriptive Statistics</b>					
	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Flavonoid	3	17.678	48.219	36.71433	16.605200
Valid N (listwise)	3				

- Isoflavon Genistein

<b>Descriptive Statistics</b>					
	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Isoflavon Genistein	3	.0016	.0348	.014233	.0179656
Valid N (listwise)	3				