

**PENGARUH LAMA PAPARAN LED MERAH (660 NM) TERHADAP
PRESENTASE AREA KOLAGEN, KETEBALAN EPIDERMIS, SERTA
ELASTISITAS PADA MENCIT (*MUS MUSCULLUS*)**

SKRIPSI

Oleh:
Syafira Aulia Filosofia M.
NIM 220604110062



**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2026**

**PENGARUH LAMA PAPARAN LED MERAH (660 NM) TERHADAP
PRESENTASE AREA KOLAGEN, KETEBALAN EPIDERMIS, SERTA
ELASTISITAS PADAT MENCIT (*MUS MUSCULLUS*)**

SKRIPSI

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

**Oleh:
Syafira Aulia Filosofia M.
NIM. 220604110062**

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2026**

HALAMAN PERSETUJUAN

PENGARUH LAMA PAPARAN LED MERAH (660 NM) TERHADAP
PRESENTASE AREA KOLAGEN, KETEBALAN EPIDERMIS, SERTA
ELASTISITAS PADAT MENCIT (*MUS MUSCULLUS*)

SKRIPSI

Oleh:

Syafira Aulia Filosofia M.
NIM. 220604110062

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Pada tanggal, 25 Juni 2026

Pembimbing I



Dr. H. Agus Mulyono, M.Kes.
NIP. 19750808 199903 1 003

Pembimbing II



Utiya Hikmah, M.Si.
NIP. 19880605 202321 2 054



Mengetahui,
Kepala Program Studi

Pand Samsu Hananto, M.T
NIP. 19740513 200312 1 001

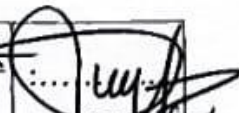
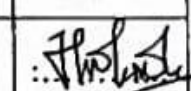
HALAMAN PENGESAHAN

PENGARUH LAMA PAPARAN LED MERAH (660 NM) TERHADAP
PRESENTASE AREA KOLAGEN, KETEBALAN EPIDERMIS, SERTA
ELASTISITAS PADA MENCIT (*MUS MUSCULLUS*)

SKRIPSI

Oleh:
Syafira Aulia Filosofia M.
NIM. 220604110062

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji
Dan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Pada Tanggal 25 Juni 2026

Penguji Utama:	<u>Prof. Dr. Drs. H. Mokhammad Tirono, M.Sc.</u> NIP. 19641211 199111 1 001	
Ketua Penguji:	<u>Muthmainnah, M.Si.</u> NIP. 19860325 201903 2 009	
Sekretaris Penguji:	<u>Dr. H. Agus Mulyono, M.Kes.</u> NIP. 19750808 199903 1 003	
Anggota Penguji:	<u>Utiya Hikmah, M.Si.</u> NIP. 19880605 202321 2 054	

Mengesahkan,
Ketua Program Studi




Farid Samsu Hananto, M.T
NIP. 19740513 200312 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Syafira Aulia Filosofia Mansyur

NIM : 220604110062

Jurusan : FISIKA

Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI

Judul Penelitian : Pengaruh Lama Paparan LED Merah 660 Nm Terhadap
Presentase Area Kolagen, Ketebalan Epidermis, Serta
Elastisitas Pada Mencit (*Mus Musculus*)

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka. Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan maka saya bersedia untuk menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 25 Juni 2026
Yang Membuat Pernyataan

The image shows an official stamp of the institution, which includes a logo and the text 'METERAN TEMPEL'. Overlaid on the stamp is a handwritten signature in black ink.

Syafira Aulia F.M
NIM. 220604110062

MOTTO

“Cukuplah Allah menjadi Penolong kami dan Dia adalah sebaik-baik Pelindung.

Dia adalah sebaik-baik Pelindung dan sebaik-baik Penolong”

(QS. Ali ‘Imran ayat 173 dan QS. Al-Anfal ayat 40)

“Apa yang pernah mematahkanmu, tidak harus menentukan masa depanmu.”

“Sebab Tuhan tlah berjanji Setelah sempit ada kemudahan”

~ Raim laode

HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan dengan tulus kepada kedua orang tua tercinta, Bapak dan Mama yang senantiasa menemani setiap langkah perjuangan pendidikan saya. Terima kasih atas curahan kebahagiaan dan pengorbanan yang tak terhingga; semoga Allah Swt. memberkahi segala kebaikan Bapak dan Mama. Rasa terima kasih juga saya tujukan kepada ketiga adik saya, nenek kakek serta seluruh keluarga dan sahabat yang telah memberikan dukungan luar biasa.

Kepada keluarga besar Fisika UIN Malang, khususnya rekan-rekan perjuangan Biofisika angkatan 2022, terima kasih atas semangat, doa, dan kebersamaannya. Sampai jumpa di masa depan di tempat terbaik yang diberkahi-Nya. Semoga ilmu yang kita pelajari menjadi berkah dan manfaat bagi sesama. Aamiin.

KATA PENGANTAR

Puji Syukur dipanjatkan kehadirat Allah SWT berkah Rahmat, Hidayah, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Lama Paparan Sinar LED Merah 660 nm Terhadap Presentase Area Kolagen, Ketebalan Epidermis, serta Elastisitas Pada Mencit (*Mus musculus*)”**. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini terwujud berkat bantuan, arahan, bimbingan, dan doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Prof. Dr. Hj. Ilfi Nur Diana, M. Si., CAHRM., CRMP selaku rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. H. Agus Mulyono, M.Kes selaku Dekan, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Farid Samsu Hananto, M.T Selaku Ketua Program Studi Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Prof. Dr. Drs. H. Mokhammad Tirono, M.Si dan Muthmainnah, M.Si Selaku dewan penguji skripsi.
5. Dr.H. Agus Mulyono, M.Kes selaku wali dosen dan Utiya Hikmah, M.Si selaku dosen pembimbing skripsi.
6. Untuk Bapak tercinta, H. Agus Mansyur dan Mama tersayang Hj. Candra Tri Agustingsih sebagai donatur utama dalam perjalanan menuju sarjana ini, penulis mengucapkan terimakasih telah mengusahakan penulis dalam setiap langkahmu. Dalam diam ataupun nyata kalian mendoakan, dalam letih

kalian menyembunyikan Lelah, demi melihat anakmu berdiri di titik ini. Setiap tetes keringat, motivasi, doa, dan dukungan materil hingga penulisan ini selesai. Mungkin skripsi ini hanyalah tulisan kertas, tapi perjuangan kalian untuk memberikan penulis fasilitas sampai selesai takkan pernah tergantikan bahkan tidak mampu penulis menggantikannya.

7. Ketiga adik penulis yang senantiasa mendoakan serta menginginkan kalian diposisi ini, penulis akan mengusahakan itu untuk kalian, terimakasih atas dukungan kalian, keluarga besar yang juga membantu memberikan dukungan secara materil, kakek nenek yang selalu menyisihkan materilnya untuk membantu penulis menyelesaikan sarjana ini.
8. Sahabat penulis yang senantiasa berkenan untuk diajak bertukar pikir saat penulis kesusahan mencari arahan. Kepada Ajeng septy, Maharani Nur, Anisa Hayatun, Melisa Wulandari, Alifa Raisan, Qonita Meilani, Kamelia Nurul, Divia Astrina, Della Puspita, Narisha Hanandysa, Mega Berlian, Alfina Laura, Nur Cholisa, Amanda Uci, serta seseorang yang tak bisa penulis sebutkan, yang berkenan untuk penulis repotin bahkan setiap longgar bersedia menemani bimbingan atau mengusahakan penulis untuk menyelesaikan revisi sampai subuh di kopian serta mengingatkan bimbingan serta dukungan yang tak terbatas terimakasih atas ketersediannya. Terimakasih sudah memberikan dukungan disaat penulis mulai overthinking sampai kalian memberikan Solusi yang sebenarnya kalian juga overthinking. Kalian bukan hanya sekedar sahabat, tapi kalian juga rumah yang penuh suka duka dan berproses bersama.

9. Kepada Nadia Mustika Azizah, Terima kasih sudah menjadi bagian yang paling tidak tergantikan dari cerita ini. Kamu adalah orang yang tahu ketika sesuatu tidak baik-baik saja, bahkan sebelum aku sendiri mengatakannya. Di tengah perjalanan panjang ini, kehadiranmu selalu menjadi alasan aku memilih untuk tidak menyerah.
10. Untuk teman-teman kamar 21 Faza serta anak biophysic terimakasih atas dukungan, kebersamaan, dan segala bantuan yang kalian berikan. Hal-hal kecil dari kalian sangat berarti dan membuat perjalanan ini terasa lebih ringan.
11. Untuk diriku sendiri, terimakasih sudah bertahan sampai akhir, yang awalnya ingin pindah tetapi memilih untuk menyelesaikan tugasmu. Terimakasih sudah kuat untuk menjalani nya walaupun dilakukan dengan penuh overthinking, bekerja, dan rasa ingin menyerah. Be better untuk kedepannya. Ini awal untuk memulai kehidupan yang sesungguhnya. Lebih kuat untuk bertahan ditahadp selanjutnya.

Malang, 26 Juni 2026

Penulis

DAFTAR ISI

COVER

HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	vi
MOTTO	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN	viii
Kata Pengantar	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
ABSTRAK	xvi
ABSTRACT	xvii
مستخلص البحث	xviii

BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat	4
1.5.1 Manfaat bagi Penulis	5
1.5.2 Manfaat Bagi Masyarakat	5
1.5.3 Manfaat Bagi Peneliti Selanjutnya	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA	7
2.1 LED Merah	7
2.1.1 Cahaya	8
2.1.2 Spektrum Cahaya	9
2.1.3 Intensitas Cahaya	10
2.2 Kulit dan Proses Penuaan	13
2.2.1 Struktur Kulit	13
2.3 Faktor Eksternal dan Faktor Instrinsik	18
2.4 Degradasi Kolagen dan Elastin	19

2.5 Mencit (<i>Mus Musculus</i>)	21
2.6 Penelitian Terdahulu	22
BAB III METODE PENELITIAN	25
3.1 Jenis Penelitian	25
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	25
3.3 Variabel Penelitian	25
3.3.1 Variabel Bebas	25
3.3.2 Variabel Terikat	26
3.3.3 Variabel Kontrol	26
3.4 Alat Dan Bahan	26
3.4.1 Alat	26
3.4.2 Bahan	27
3.5 Diagram Alir	28
3.6 Prosedur Penelitian	29
3.6.1 Aklimatisasi Hewan Uji	29
3.6.2 Persiapan Area Perlakuan	29
3.6.3 Pemberian Perlakuan LED Merah 660 nm	30
3.6.4 Pengukuran Elastisitas Kulit	30
3.6.5 Pengambilan Sampel Kulit	31
3.6.6 Pewarnaan Jaringan dan Analisis Histologi	31
3.7 Teknik Pengambilan Data	32
3.7.1 Presentase Area Kolagen	32
3.7.2 Ketebalan Epidermis	33
3.7.3 Elastisitas Kulit	33
3.8 Analisis Data	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Data Hasil	37
4.1.1 Pengaruh LED Merah Terhadap Presentase Area kolagen	37
4.1.2 Pengaruh LED Merah Terhadap Ketebalan Epidermis	41
4.1.3 Pengaruh LED Merah Terhadap Elastisitas	45
4.2 Pembahasan	49
4.3 Integrasi Al-Quran	57

BAB V PENUTUP	62
5.1 Kesimpulan.....	62
5.2 Saran	64
DAFTAR PUSTAKA.....	65
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Spektrum Gelombang Elektromagnetik	10
Gambar 2.2 Lapisan Epidemis	14
Gambar 2.3 Lapisan dermis	16
Gambar 2.4 Lapisan Hipodermis	18
Gambar 4.1 Grafik Pengaruh LED Terhadap Presentase Area Kolagen.....	39
Gambar 4.2 Pengaruh Lama Paparan terhadap Ketebalan Epidermis.	43
Gambar 4.3 Pengaruh Lama Paparan Terhadap Elastisitas.....	47
Gambar 4.1 Grafik Pengaruh LED Terhadap presentase area Kolagen	39
Gambar 4.2 Pengaruh Lama Paparan terhadap Ketebalan Epidermis.	43
Gambar 4.3 Pengaruh Lama Paparan Terhadap Elastisitas.....	47
Gambar 4.4 Gambar histologi kontrol	51
Gambar 4.5 Gambar histologi 5 menit.....	51
Gambar 4.6 Gambar histologi 10 menit.....	51
Gambar 4.7 Gambar histologi 15 menit.....	51
Gambar 4.8 Gambar histologi 20 menit.....	51
Gambar 4.9 Gambar histologi kontrol	54
Gambar 4.10 Gambar histologi 5 menit.....	54
Gambar 4.11 Gambar histologi 10 menit.....	54
Gambar 4.12 Gambar histologi 15 menit.....	54
Gambar 4.13 Gambar histologi 20 menit.....	54

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Pengolahan Data Presentase Area Kolagen.....	32
Tabel 3.2 Pengambilan Data Ketebalan Epidermis.....	33
Tabel 3.3 Pengambilan Data Uji Elastisitas	34
Tabel 4.1 Hasil Presentase area kolagen	38
Tabel 4.2 Hasil Uji One Way Anova Presentase Area kolagen	40
Tabel 4.3 Hasil uji duncan Presentase Area kolagen.....	40
Tabel 4.4 Hasil ketebalan epidermis	42
Tabel 4.5 Hasil Uji One Way Anova Ketebalan Epidermis	44
Tabel 4.6 Hasil uji duncan ketebalan epidermis.....	44
Tabel 4.7 Hasil Elastisitas	46
Tabel 4.8 Hasil Uji One Way Anova Ketebalan Epidermis	48
Tabel 4.9 Hasil uji duncan ketebalan epidermis.	48

ABSTRAK

Filosofia, Syafira Aulia. 2026. ***Pengaruh Lama Paparan LED Merah (660 nm) Terhadap Presentase Area Kolagen, Ketebalan Epidermis, serta Elastisitas pada Kulit Mencit (*Mus musculus*)***. Skripsi. Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
Pembimbing: (1) Dr. H. Agus Mulyono, S.Si, M.Kes. (2) Utiya H., M.Si.

Kata Kunci: LED merah 660 nm, photobiomodulation, kolagen, ketebalan epidermis, elastisitas kulit, *Mus musculus*.

Kulit rentan mengalami penuaan struktural berupa berkurangnya kolagen, penipisan epidermis, serta menurunnya elastisitas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui variasi durasi pengaruh lama paparan LED merah 660 nm terhadap presentase area kolagen, ketebalan epidermis, serta elastisitas pada mencit (*Mus musculus*). Penelitian eksperimentasi kuantitatif dengan RAL menggunakan 20 ekor mencit yang dibagi menjadi 5 kelompok dengan paparan : kontrol, 5, 10, 15, dan 20 menit per hari selama 21 hari dengan intensitas ± 20 mW/cm². Hasil menunjukkan paparan LED merah berpengaruh signifikan ($p < 0,005$) terhadap ketiga parameter. Presentase Area kolagen meningkat dari 55,54% menjadi 90,02%, ketebalan epidermis dari 55,4 μ m menjadi 105,87 μ m, serta elastisitas menggunakan rasio (ua/uf) dari 0,46 menjadi 0,88 pada paparan 20 menit. Peningkatan ini dimediasi mekanisme fotobiomodulasi melalui aktivitas *cytochrome c oxidase* yang meningkatkan produksi ATP dan mengaktifkan jalur TGF- β . Durasi 20 menit per hari memberikan hasil efektif, meskipun batas efektivitas biologis maksimal masih perlu dikaji lebih lanjut.

ABSTRACT

Filosofia, Syafira Aulia. 2026. *The Effect of Duration of Exposure to Red LED (660 nm) on the Percentage of Collagen Area, Epidermal Thickness, and Elasticity in Mouse Skin (Mus musculus)*. Thesis. Departemen of Physics, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University, Malang.

Supervisor: (1) Dr. H. Agus Mulyono, S.Si, M.Kes. (2) Utiya H., M.Si.

Keywords: 660 nm red LED, photobiomodulation, collagen, epidermal thickness, skin elasticity, mus musculus.

The skin is prone to structural aging characterized by a decrease in collagen, thinning of the epidermis, and reduced elasticity. This study aims to determine the effect of varying exposure duration to 660 nm red LED light on the percentage of collagen area, epidermal thickness, and elasticity in mice (*Mus musculus*). This quantitative experimental study using a randomized all-pairs design (RAL) involved 20 mice divided into 5 groups with exposure durations of: control, 5, 10, 15, and 20 minutes per day for 21 days at an intensity of $\pm 20 \text{ mW/cm}^2$. The result showed that red LED exposure had a significant effect ($p < 0,005$) on all three parameters. The percentage of collagen area increased from 55,54% to 90,02%, epidermal thickness from 55,4 μm to 105,87 μm , and elasticity (measured by the (u_a/u_f) ratio) from 0,46 to 0,88 with 20 minutes exposure. These improvements are mediated by photobiomodulation mechanisms through cytochrome c oxidase activity, which increases ATP production and activates the TGF- β pathway. A 20 minutes treatment per day yielded effective result, although the limit of maximum biological efficacy still requires further investigation.

مستخلص البحث

فيلوسوفيا، شفيريا أوليا. 2026. تأثير مدة التعرض لضوء LED الأحمر (660 نانومتر) على نسبة منطقة الكولاجين، وسمك البشرة، ومرونة الجلد لدى الفئران (فأر المنزل). بحث جامعي. قسم الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرفون: (1) الدكتور. الحاج. أغوس موليونو، الماجستير (2) أوتيا ه..، الماجستير.

الكلمة الرئيسية: LED الأحمر 660 نانومتر، التحفيز الضوئي البيولوجي، الكولاجين، سمك البشرة، مرونة الجلد، فأر المنزل.

تعرض البشرة الحساسة للشيخوخة البنيوية المتمثلة في انخفاض الكولاجين، وترقق البشرة، وانخفاض المرونة. تهدف هذه الدراسة إلى معرفة تأثير مدة التعرض لأشعة LED الحمراء بطول موجي 660 نانومتر على نسبة مساحة الكولاجين وسمك البشرة والمرونة لدى الفئران (فأر المنزل). الدراسة تجربة كمية مع تصميم عشوائي شامل استخدمت 20 فأر تم تقسيمهم إلى 5 مجموعات مع التعرض: مجموعة التحكم، 5، 10، 15، و 20 دقيقة يومياً لمدة 21 يوماً بشدة $20 \pm$ م واط/سم². أظهرت النتائج أن التعرض لأشعة LED الحمراء له تأثير كبير ($p > 0.005$) على المعايير الثلاثة. زادت نسبة مساحة الكولاجين من 55.54٪ إلى 90.02٪، وسمك البشرة من 55.4 ميكرومتر إلى 105.87 ميكرومتر، كما ارتفعت المرونة باستخدام النسبة (ua/uf) من 0.46 إلى 0.88 عند التعرض لمدة 20 دقيقة. تم التوسط في هذا التحسن بواسطة آلية التحفيز الضوئي الحيوي من خلال نشاط سايتوكروم سي أوكسيداز الذي يزيد إنتاج ATP وينشط مسار TGF- β . مدة 20 دقيقة يومياً تعطي نتائج فعّالة، رغم أن الحد الأقصى للفعالية البيولوجية لا يزال بحاجة للمزيد من الدراسة.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kulit merupakan organ terbesar tubuh manusia yang tidak hanya berfungsi sebagai pelindung terhadap lingkungan eksternal, tetapi juga menjadi cerminan kondisi kesehatan dan proses penuaan seseorang. Seiring bertambahnya usia, kulit mengalami penurunan struktural yang ditandai dengan berkurangnya kolagen, penipisan lapisan epidermis, dan menurunnya elastisitas (Fisher et al., 2002). Salah satu metode non-invasif yang berkembang dalam perawatan kulit adalah terapi photobiomodulation menggunakan Light Emitting Diode (LED). Di antara berbagai panjang gelombang yang digunakan, LED merah 660 nm memiliki kemampuan penetrasi jaringan yang cukup baik karena rendahnya penyerapan cahaya oleh air dan hemoglobin. Secara biofisika, cahaya LED merah diserap oleh cytochrome c oxidase pada mitokondria sehingga meningkatkan produksi ATP dan mengaktifasi jalur sinyal seluler yang berperan dalam regenerasi jaringan kulit (Hamblin, 2017; Avci et al., 2013).

Meskipun LED merah diketahui berpotensi meningkatkan regenerasi kulit, sebagian besar penelitian masih berfokus pada variasi panjang gelombang dan intensitas cahaya. Penelitian mengenai pengaruh lama paparan LED merah 660 nm terhadap presentase area kolagen, ketebalan epidermis, dan elastisitas kulit masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi lama paparan LED merah

terhadap parameter kualitas kulit. Kesenjangan inilah yang menjadi landasan dilaksanakannya penelitian ini.

Dalam Surah An-Nur (24): 35

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

Artinya : “ Allah (pemberi) cahaya (pada) langit dan bumi. Perumpamaan cahayaNya seperti sebuah lubang (pada dinding) yang tidak tembus yang di dalamnya ada pelita besar. Pelita itu di dalam tabung kaca (dan) tabung kaca itu bagaikan bintang (yang berkilauan seperti) mutiara, yang dinyalakan dengan minyak dari pohon yang diberkahi, (yaitu) pohon zaitun yang tumbuh tidak di timur dan tidak pula di barat, yang minyaknya (saja) hampir-hampir menerangi walaupun tidak disentuh api. Cahaya di atas cahaya (berlapis-lapis). Allah memberi petunjuk menuju cahaya-Nya kepada orang yang Dia kehendaki. Allah membuat perumpamaan-perumpamaan bagi manusia. Allah Maha Mengetahui segala sesuatu”

Dalam Al-Qur'an, cahaya disebut sebagai salah satu tanda kekuasaan

Allah SWT yang memberikan manfaat bagi kehidupan manusia.

Pemanfaatan cahaya dalam bidang kesehatan, termasuk terapi LED merah, menunjukkan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang dapat digunakan untuk mendukung proses penyembuhan dan regenerasi jaringan.

Penggunaan terapi cahaya LED merah telah menunjukkan potensi dalam meningkatkan regenerasi kulit. Penelitian oleh Lee et al. (2007) menunjukkan bahwa paparan LED merah dapat meningkatkan sintesis kolagen pada kulit manusia. Namun, durasi paparan optimal dan mekanisme kerja yang mendasari efek tersebut masih perlu diteliti lebih lanjut.

Secara biofisika, cahaya LED merah bekerja dengan prinsip penyerapan energi foton oleh kromofor mitokondria (*cytochrome c oxidase*). Proses ini

meningkatkan produksi energi seluler (ATP), memperbaiki metabolisme sel, dan merangsang regenerasi jaringan kulit (Hamblin, 2017). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa LED merah 660 nm efektif dalam meningkatkan regenerasi kulit. Namun, durasi paparan yang paling optimal masih belum diketahui secara pasti. Sebagian penelitian hanya menggunakan waktu paparan singkat atau dilakukan tanpa model hewan uji yang terkontrol (Festing, 2006). Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan mencit (*Mus musculus*) sebagai model hewan uji untuk menganalisis pengaruh variasi lama paparan LED merah terhadap Presentase Area kolagen, ketebalan epidermis, dan elastisitas kulit.

Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang berfokus pada penyembuhan luka atau kerusakan kulit akibat sinar UV, penelitian ini menganalisis pengaruh lama paparan LED merah 660 nm terhadap kualitas kulit mencit sehat berdasarkan parameter Presentase area kolagen, ketebalan epidermis, dan elastisitas kulit.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan Latar belakang yang telah diuraikan, Maka penelitian ini memiliki rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh lama paparan LED merah (660 nm) terhadap Presentase area kolagen kulit mencit (*Mus musculus*)?
2. Bagaimana pengaruh lama paparan LED merah (660 nm) terhadap ketebalan epidermis kulit mencit (*Mus musculus*)?
3. Bagaimana pengaruh lama paparan LED merah (660 nm) terhadap elastisitas kulit mencit (*Mus musculus*)?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh lama paparan LED merah (660 nm) terhadap Presentase area kolagen kulit mencit setelah perlakuan.
2. Untuk mengetahui pengaruh lama paparan LED merah (660 nm) terhadap ketebalan epidermis kulit mencit setelah perlakuan.
3. Untuk mengetahui pengaruh variasi lama paparan LED merah (660 nm) terhadap elastisitas kulit mencit setelah satu bulan perlakuan

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan fokus pada tujuan yang ingin dicapai, maka ditetapkan beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Objek penelitian dibatasi pada hewan uji mencit jantan dewasa (*Mus musculus*) dengan berat badan 20–40 gram.
2. Jenis cahaya yang digunakan adalah LED merah (660 nm) dengan intensitas $\pm 20 \text{ mW/cm}^2$.
3. Variasi perlakuan dibatasi pada lama waktu paparan (0, 5, 10, 15, dan 20 menit per hari) selama 30 hari berturut-turut, sedangkan intensitas cahaya, jarak sumber, dan suhu dijaga tetap.
4. Penelitian yang diamati meliputi perubahan kondisi kulit mencit, seperti tingkat elastisitas, ketebalan epidermis, dan tanda-tanda pembentukan kerutan, yang dianalisis secara histologis.

1.5 Manfaat

Manfaat dilakukannya penelitian ini yaitu:

1.5.1 Manfaat bagi Penulis

Penelitian ini memberikan kesempatan bagi penulis untuk meningkatkan pemahaman dan keterampilan dalam melakukan penelitian ilmiah, khususnya dalam bidang bioteknologi dan kesehatan kulit. Melalui penelitian ini, penulis juga dapat memperdalam pengetahuan tentang penerapan teknologi LED merah (660 nm) dalam terapi anti-penuaan serta belajar menganalisis data ilmiah secara sistematis dan objektif.

1.5.2 Manfaat Bagi Masyarakat

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi dan pemahaman baru bagi masyarakat mengenai manfaat teknologi cahaya LED merah dalam perawatan kulit. Penelitian ini juga dapat menjadi alternatif solusi perawatan kulit yang aman, efektif, dan non-invasif, sehingga masyarakat dapat lebih selektif dan bijak dalam memilih metode perawatan kecantikan yang sesuai dengan prinsip kesehatan dan nilai keagamaan.

1.5.3 Manfaat Bagi Peneliti Selanjutnya

Penelitian ini dapat menjadi referensi awal atau dasar bagi penelitian lanjutan yang ingin mengembangkan topik serupa. Peneliti berikutnya dapat memperluas cakupan studi, misalnya dengan menggunakan variasi panjang gelombang lain, intensitas cahaya berbeda, atau model hewan dan manusia yang lebih beragam. Selain itu, penelitian lanjutan juga dapat mengeksplorasi mekanisme biologis lebih mendalam terkait peran LED merah terhadap proses regenerasi kulit.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 LED Merah

Light Emitting Diode (LED) adalah salah satu semikonduktor yang memancarkan cahaya monokromatik yang bisa diartikan sebagai diode yang memancarkan cahaya bila dialirkan arus listrik. Lampu LED memancarkan cahaya pergerakan electron pada material. Lampu LED terdiri dari bahan material semikonduktor yang memancarkan gelombang cahaya yang dapat dilihat oleh mata manusia dan memanarkannya dalam jumlah besar (Kurniaty dkk,2010).

LED Merah adalah salah satu jenis *Light Emitting Diode* (LED) yang secara khusus dirancang untuk memancarkan cahaya berwarna merah ketika dialiri arus listrik, Untuk LED Merah, cahaya yang dihasilkan memiliki panjang gelombang sekitar 620–750 nanometer, yang jatuh dalam spektrum cahaya tampak bagian warna merah, membuatnya tampak mencolok dan mudah dikenali oleh mata manusia. LED ini biasanya dibuat dari bahan semikonduktor seperti Gallium Arsenide Phosphide (GaAsP) atau Aluminium Gallium Arsenide (AlGaAs), yang memiliki band gap energi yang tepat untuk menghasilkan warna merah; band gap ini adalah celah energi antara valensi band dan conduction band dalam material semikonduktor, yang menentukan warna cahaya yang dipancarkan (Schubert, E. F. 2018).

LED merah banyak dimanfaatkan dalam bidang kesehatan, khususnya pada terapi photobiomodulation karena memiliki kemampuan penetrasi jaringan yang cukup baik. Cahaya merah pada panjang gelombang 660 nm diketahui mampu menembus lapisan kulit dan memberikan efek biologis pada jaringan (Isnaini, dkk., 2015).

Dari sudut pandang biofisika, LED merah bekerja dengan prinsip penyerapan energi foton oleh kromofor mitokondria, terutama enzim cytochrome c oxidase. Energi foton LED merah ($E \approx 1,88 \text{ eV}$) diserap oleh enzim ini sehingga meningkatkan transfer elektron dalam rantai respirasi seluler, yang kemudian meningkatkan produksi ATP (adenosin trifosfat). Kenaikan ATP mempercepat proses regenerasi dan metabolisme sel, termasuk sintesis protein kolagen dan elastin (Hamblin, 2017).

Selain itu, paparan LED merah menurunkan stres oksidatif dengan meningkatkan aktivitas enzim antioksidan dan memperbaiki fungsi mikrosirkulasi kulit. Dalam konteks penelitian ini, intensitas cahaya LED diatur sebesar $\pm 20 \text{ mW/cm}^2$ dengan variasi waktu paparan 0, 5, 10, 15, dan 20 menit per hari selama 1 bulan.

2.1.1 Cahaya

Cahaya dalam kehidupan sehari-hari sangat dibutuhkan. Sumber cahaya yang utama di bumi adalah cahaya matahari. Dalam bidang fisika banyak dikaji karena untuk mengetahui karakteristik dan sifat dari cahaya. Sementara itu, cahaya ada dua pendapat, yakni cahaya dianggap sebagai gelombang dan cahaya dianggap sebagai partikel. Oleh karena itu, cahaya

adalah gelombang elektromagnetik yang dalam kondisi tertentu dapat berkelakuan seperti partikel. Gelombang elektromagnetik tidak memerlukan medium untuk merambat. Dengan itu, sinar matahari dapat sampai ke bumi dan memberikan kehidupan di dalamnya (Sunardi, 2012).

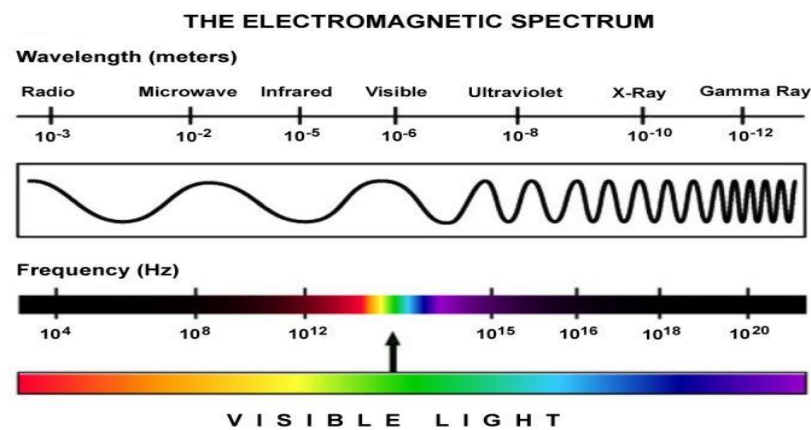
Cahaya matahari Adalah sumber energi utama bagi kehidupan untuk makhluk hidup di bumi. Bagi manusia, hewan, dan tumbuhan. Cahaya matahari bagi manusia khususnya Meningkatkan sirkulasi darah di kulit, sehingga kulit tampak lebih sehat dan segar. Kekurangan cahaya matahari akan mengganggu Kesehatan kulit apabila terlalu lama dibawah paparan sinar matahari, akibatnya akan lebih cepat untuk proses penuaan dini pada kulit (Erniyanti,2016).

2.1.2 Spektrum Cahaya

Pada tahun 1873, J. C. maxwell secara teori menjelaskan tentang adanya gelombang elektromagnetik di alam yang merambat dengan kecepatan cahaya. Kemudian secara eksperimen Heinrich Hertz pada tahun 1888, dengan memakai osilasi dipol Listrik, berhasil memperoleh gelombang elektromagnetik, yakni gelombang mikro, yang ternyata dapat dipantulkan, dibiaskan, difokuskan dengan lensa dan seterusnya (Soedjojo,2004).

Cahaya Adalah gelombang yang dapat dilihat dengan komponennya yaitu cahaya merah, jingga, kuning, hijau, biru, nila, dan ungu. Panjang gelombang cahaya berada pada kisaran antara 0,2 μm sampai dengan 0,5 μm , yang sesuai dengan frekuensi antara 6×10^{15} Hz hingga 20×10^{15} Hz (Bambang dan Priyambodo,2010).

Warna cahaya berhubungan dengan Panjang gelombang atau frekuensi cahaya tersebut. Cahaya tampak yaitu cahaya yang sensitive pada mata jatuh pada kisaran 400 nm sampai 750 nm. Kisaran ini dikenal sebagai spektrum tampak yang didalamnya terdapat warna ungu sampai merah (Giancoli, 2001).



Gambar 2. 1 Spektrum Gelombang Elektromagnetik

Spektrum gelombang elektromagnetik meliputi gelombang radio, gelombang mikro, inframerah, cahaya tampak, ultraviolet, sinar-X, dan sinar gamma. Dari keseluruhan spektrum tersebut, hanya cahaya tampak yang dapat diterima oleh mata manusia. Cahaya merah termasuk dalam spektrum cahaya tampak dengan panjang gelombang sekitar 620–750 nm (Nybakken, 1988).

2.1.3 Intensitas Cahaya

Intensitas cahaya merupakan jumlah energi cahaya yang dipancarkan pada suatu luas permukaan tertentu. Intensitas cahaya dipengaruhi oleh besar energi cahaya dan jarak sumber cahaya terhadap objek yang disinari.

Semakin besar intensitas cahaya yang diberikan, maka semakin besar energi yang diterima oleh jaringan (Veramika dkk, 2016).

$$\Omega = \frac{A}{R^2} \quad (2.1)$$

Keterangan: A= luas permukaan yang terpapar cahaya (m^2)

B = jari-jari bola (m)

Ω = sudut pancaran (steradian)

Besarnya nilai intensitas cahaya dapat dinyatakan dengan rumus:

$$I = \frac{F}{\Omega} \quad (2.2)$$

Keterangan: F = fluks luminous (lumen)

Ω = sudut pancaran (steradian)

I = Lumen/steradian (candela)

Lumen merupakan satuan fluks cahaya yang dipancarkan oleh sumber cahaya. Kuat penerangan cahaya dapat diperoleh jika fluks cahaya (F) lumen berada pada arah tegak lurus (veramika dkk., 2016):

$$K = \frac{F}{A} \quad (2.3)$$

K merupakan kuat pegangan yang mana satuannya Adalah lumen/ m^2 (lux). Dimana untuk luas permukaan sferis $4\pi R^2$ yang terpapar cahaya maka:

$$F_t = 4\pi I \quad (2.4)$$

Ketika sumber cahaya memancarkan cahaya konsentris, besarnya luas permukaan yang ditembus oleh fluks cahaya Adalah $4\pi R^2$, maka persamaan untuk kuat penerangan (K):

$$K = \frac{4\pi I}{4\pi R^2} \quad (2.5)$$

$$K = \frac{I}{R^2} \quad (2.6)$$

Kuat penerangan akan bernilai sebanding dengan intensitas cahaya (K-I) ketika jarak konstan. Maka dari itu, kuat penenarangan dapat dijadikan sebagai ukuran intensitas cahaya yang berasal dari sumber cahaya yang satuannya Adalah Lux (satuan intensitas cahaya). Satuan intensitas cahaya (lux) merupakan banyaknya energi yang jatuh pada suatu area dalam satu detik. Besarnya kuat penerangan (K) akan kecil sebanding dengan kuadrat jarak (r) pada intensitas cahaya (I) yang konstan. Besarnya kuat penerangan tersebut dapat dikatakan sebagai intensitas cahaya. Luxmeter merupakan alat yang dapat digunakan untuk mengukur intensitas cahaya. Dengan luxmeter besarnya intensitas cahaya yang dipancarkan lampus ultraviolet dalam satuan Lux (wanto, 2008).

Intensitas radiasi merupakan energi atau jumlah radiasi persatuan waktu persatuan luas atau dapat dikatakan intensitas (I) merupakan perkaitan dari kuantitas (Φ) dan energi (E) (Veramika,dkk., 2016).

$$I = \Phi.E \quad (2.7)$$

2.2 Kulit dan Proses Penuaan

Kulit merupakan organ terbesar pada tubuh yang berfungsi sebagai pelindung utama terhadap faktor lingkungan. Seiring bertambahnya usia, kulit akan mengalami perubahan struktural berupa penurunan elastisitas, penipisan epidermis, dan pembentukan kerutan. Faktor eksternal seperti paparan sinar ultraviolet, radikal bebas, serta stres oksidatif mempercepat proses penuaan kulit

2.2.1 Struktur Kulit

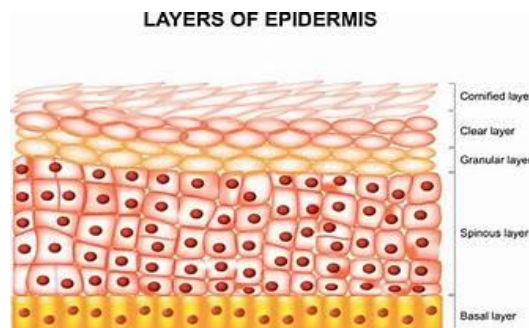
1) Epidermis

Pada kulit yang menua secara alami (intrinsik), perubahan paling jelas terlihat di lapisan basal epidermis. Di sini, pertumbuhan sel menurun, sehingga lapisan kulit luar (epidermis) menjadi lebih tipis, dan area kontak antara lapisan dalam (dermis) dan luar berkurang. Hal ini membuat permukaan untuk pertukaran nutrisi ke epidermis lebih sempit, yang akhirnya menurunkan kemampuan sel basal untuk berkembang biak (Zhang S, Duan E., 2018). Proses ini disebut penuaan seluler, yang melibatkan sel-sel seperti keratinosit, fibroblas, dan melanosit. Selain itu, ada peningkatan penanda penuaan seperti enzim β -galactosidase pada sel fibroblas di dermis dan keratinosit di epidermis.

Berbeda dengan penuaan alami yang membuat epidermis lebih tipis, paparan sinar UV justru membuatnya lebih tebal. Lapisan terluar epidermis, yaitu stratum korneum, menebal karena korneodesmosom (ikatan antar sel) gagal terurai dengan baik. Selain itu, jumlah sel Langerhans menurun secara

signifikan, distribusi melanosit menjadi tidak merata di lapisan basal, dan granula keratohialin menjadi lebih kecil serta menyebar luas di sel granulosit. Ekspresi involucrin juga meningkat, menunjukkan bahwa proses pembentukan sel keratinosit terganggu oleh UV. Pada sel basal, ekspresi $\beta 1$ -integrin (penanda sel induk epidermis) yang berinteraksi dengan protein luar sel menurun, sehingga fungsi penghalang kulit terganggu. Akibatnya, kulit yang menua menunjukkan masalah seperti peningkatan penyerapan obat melalui kulit, sensitivitas terhadap iritan, kulit kering (xerosis), dan gatal (pruritus) (Choi EH,2020).

Seiring bertambahnya usia, risiko penyakit kulit meningkat karena epidermis kehilangan kemampuan menjaga keseimbangan. Beberapa masalah utama termasuk gangguan permeabilitas (penghalang kelembaban), penurunan hidrasi di stratum korneum, dan peningkatan pH permukaan kulit. Indikator ini terlihat dari peningkatan transepidermal water loss (TEWL), yang menunjukkan bahwa penghalang permeabilitas epidermis rusak. Selain itu, waktu pemulihan penghalang kulit lebih lama dibandingkan pada orang muda (Wang Z dkk, 2020).



Gambar 2. 2 Lapisan Epidemis

Berdasarkan model 'batu bata dan semen' untuk kulit, kekuatan penghalang kulit bergantung pada kualitas dan jumlah protein serta lipid antar sel di stratum korneum. Faktor pertumbuhan epidermal menurun, pertumbuhan keratinosit berkurang, dan apoptosis (kematian sel) keratinosit meningkat, sehingga epidermis menjadi lebih tipis. Protein struktural penting seperti filaggrin, lorikrin, dan cornified envelope protein juga menurun pada kulit tua, yang merusak struktur 'batu bata' (sel korneosit). Selain itu, lipid antar sel terganggu karena rasio kolesterol, asam lemak bebas, dan seramid tidak seimbang. Pada kulit menua, kadar lipid total di stratum korneum turun lebih dari 30% dibandingkan kulit muda, terutama karena penurunan produksi kolesterol (Wang Z dkk, 2020).

Hidrasi stratum korneum mencapai puncaknya sekitar usia 40 tahun, kemudian menurun. Penurunan ini disebabkan oleh beberapa hal, seperti berkurangnya lipid di stratum korneum, penurunan filaggrin dan metabolitnya (seperti asam transurokanat dan asam pirolidon karboksilat) yang berfungsi sebagai pelembap alami, serta penurunan kadar sebum dan gliserol pada kulit tua (Wang Z dkk, 2020).

Akhirnya, pH permukaan kulit cenderung meningkat mulai usia 55 tahun, dan lebih signifikan di atas 70 tahun, meskipun variasi tergantung jenis kelamin dan bagian tubuh. Faktor penyebabnya termasuk penurunan sebum yang mengurangi trigliserida di stratum korneum. Trigliserida biasanya diuraikan menjadi asam lemak bebas yang menjaga keasaman kulit. Selain itu, enzim seperti secretory phospholipase 2 (sPLA2) dan sodium-hydrogen exchanger 1 (NHE1) juga berperan, di mana ekspresi

NHE1 lebih rendah pada kulit tua. Hal ini diperparah oleh penurunan ekspresi filaggrin di epidermis (Wang Z dkk, 2020).

2) Dermis

Pada lapisan dalam kulit (dermis) yang mengalami penuaan, jumlah bahan penting seperti kolagen (protein yang membuat kulit kenyal dan kuat), elastin (serat yang membantu kulit tetap lentur), sel mast (sel yang melawan infeksi), dan fibroblas (sel pembuat jaringan) menjadi lebih sedikit. Selain itu, jumlah pembuluh darah di kulit juga berkurang karena masalah pada dinding pembuluh darah, kemampuan tubuh untuk membentuk pembuluh baru menurun, dan fungsi pelebaran pembuluh darah terganggu. Hal ini juga membuat oligosakarida (gula-gula sederhana yang membantu menjaga kelembaban) rusak, sehingga kulit kesulitan menyimpan air. Akibatnya, kulit bisa menipis (atrofi) dan kehilangan kekencangannya (Hachmo Y, dkk, 2021).



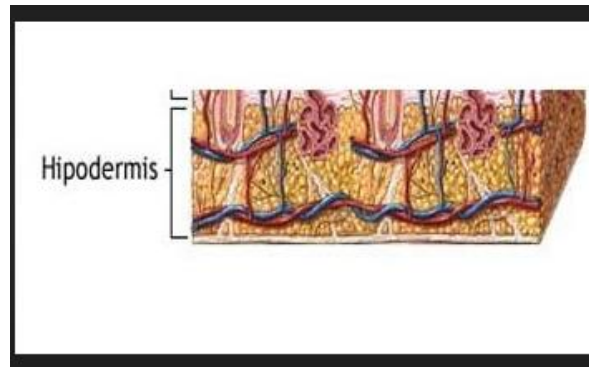
Gambar 2. 3 Lapisan dermis

Pada kulit yang menua karena paparan sinar UV (photoaging), yang paling mencolok adalah penumpukan serat elastin yang abnormal di dermis, disebut solar elastosis (Zhang S, Duan E., 2018). Sinar UV bisa

meningkatkan produksi elastin hingga 4 kali lipat, tapi kemudian elastin ini rusak dan dipecah oleh enzim seperti MMP-2, MMP-3, dan elastase. Hasilnya, serat elastin menjadi pendek, tidak beraturan, dan menumpuk secara acak. Penelitian baru menunjukkan bahwa photoaging membuat bagian-bagian elastin lebih mudah dipecah, mempercepat proses penuaan (Mora Huertas AC, 2016).

3) Hipodermis

Lapisan hipodermis adalah lapisan terdalam kulit, yang terbuat dari lemak (jaringan adiposa) dan jaringan penghubung. Fungsi utamanya adalah menyimpan lemak untuk energi, melindungi tubuh dari cedera, dan menjaga suhu tubuh tetap stabil. Saat kulit menua, lapisan ini juga mengalami perubahan, seperti penurunan ketebalan lemak yang membuat kulit terlihat kendur dan kehilangan volume. Misalnya, pada umur 70 tahunan, lemak di hipodermis berkurang karena metabolisme yang melambat dan pengaruh hormon, sehingga kulit lebih mudah mengalami masalah seperti selulit atau kehilangan bentuk wajah. Perubahan ini bisa diperburuk oleh faktor luar seperti kurang olahraga atau paparan sinar UV, meskipun efek utamanya lebih terkait dengan penuaan alami (Tobin DJ, 2017).



Gambar 2. 4 Lapisan Hipodermis

Dalam hubungannya dengan lapisan dermis, hipodermis membantu menopang dermis agar kulit tetap elastis. Jika dermis kehilangan kolagen dan elastin seperti yang dijelaskan, hipodermis yang menipis bisa memperburuk masalah, seperti membuat kulit lebih rentan terhadap cedera atau kehilangan kelembaban. Secara sederhana, bayangkan hipodermis sebagai "bantalan" yang melindungi kulit; saat menua, bantalan ini menipis, sehingga kulit keseluruhan menjadi lebih lemah (Mora Huertas, 2016).

2.3 Faktor Eksternal dan Faktor Instrinsik

Faktor instrinsik adalah hal-hal di dalam tubuh kita yang secara alami menyebabkan kulit menua, seperti proses penuaan yang tidak bisa dihindari. Misalnya, bertambahnya usia membuat sel-sel kulit lambat beregenerasi karena pengaruh genetik (warisan dari orang tua) dan perubahan hormon, seperti estrogen yang menurun pada wanita dewasa. Selain itu, metabolisme tubuh yang melambat juga berperan, di mana tubuh kurang efisien dalam memproduksi protein penting seperti kolagen (Zhang S, 2018).

Faktor eksternal adalah pengaruh dari luar yang mempercepat penuaan kulit, seperti paparan sinar matahari (UV), polusi udara, merokok, atau pola

hidup buruk seperti kurang tidur dan diet tidak sehat. Sinar UV, misalnya, merusak lapisan kulit dengan membuat sel-sel mati lebih cepat, sementara polusi dan merokok menambah radikal bebas yang merusak protein kulit. Gaya hidup seperti jarang minum air atau kurang olahraga juga memperburuknya dengan mengurangi kelembaban kulit (Zhang S, 2018).

Faktor intrinsik dan eksternal bekerja secara sinergis untuk menginduksi perubahan struktur dan fungsi kulit yang dapat bermanifestasi klinis sebagai eritema, hiperpigmentasi, telangiektasia, kulit kering atau kendur, kerutan kasar, perubahan tekstur kulit, atau kanker kulit. Penuaan kulit dapat menyebabkan munculnya kekhawatiran tentang penampilan fisik yang memengaruhi interaksi pribadi, fungsi pekerjaan, dan kepercayaan diri. Pada proses penuaan kulit serta patofisiologi perubahan yang terjadi pada setiap lapisan kulit, sehingga dapat membantu klinisi dalam memahami dan menentukan tata laksana yang tepat untuk mencegah dan mengobati berbagai kondisi serta penyakit terkait penuaan kulit (Manríquez J, 2014).

2.4 Degradasi Kolagen dan Elastin

Kerutan terbentuk karena kulit kehilangan kekuatan dan kelembaban seiring waktu, yang disebabkan oleh campuran faktor intrinsik dan eksternal. Secara sederhana, ketika kolagen (protein yang membuat kulit kenyal) dan elastin (serat yang membantu kulit kembali ke bentuk asli) berkurang, kulit menjadi lebih tipis dan tidak elastis. Misalnya, pada penuaan alami, sel-sel kulit memproduksi lebih sedikit kolagen, sementara paparan UV mempercepat pemecahan kolagen melalui enzim khusus. Hasilnya, kulit mengkerut seperti kertas yang dilipat berulang kali, terutama

di area wajah yang sering bergerak. Proses ini dimulai dari lapisan dermis yang rusak, lalu memengaruhi lapisan luar, sehingga kerutan semakin dalam (Rinnerthaler M, 2015).

Kolagen merupakan serat utama pada lapisan dermis kulit dan merupakan protein yang berfungsi untuk kekuatan mekanik dan penyangga kulit. Semakin bertambah umur maka struktur protein kulit dan komponen kulit lain akan berubah dan hal ini menyebabkan penuaan kulit. Perubahan jumlah kolagen merupakan bagian integral dari proses penuaan kulit. Diperkirakan bahwa akan terjadi penurunan kolagen sekitar 1% pertahun perunit area kulit akan tetapi pada kulit yang terpapar sinar UV dijumpai penurunan sampai 59% seperti yang ditemukan pada kulit yang mengalami photodamage (Uito et al., 2008; Griffiths et al., 2009).

Elastin adalah protein komponen matriks ekstraseluler pada kulit dan jaringan tubuh. Elastin di lapisan kulit membantu menjaga kulit agar tetap fleksibel dan kencang. Di dalam tubuh, elastin biasanya dikaitkan dengan protein lain di jaringan ikat yaitu kolagen (Mithieux, S. M., & Weiss, A. S, 2005). Serabut elastin di dalam tubuh merupakan campuran elastin amorf dan fibrous fibrillin. Elastin banyak terdapat pada organ-organ yang mengandalkan elastisitas pada sistem kerjanya, seperti arteri, besar, paru-paru, ligamen, tendon, kulit, dan tulang rawan elastis. Fungsi elastin dalam jaringan ikat bekerjasama dengan kolagen. Elastin memberikan kesan elastis sedangkan kolagen bertugas memberikan kesan kaku pada jaringan ikat. Zat tersebut juga dapat membantu menjaga kulit agar tetap halus karena dapat meregangkan otot. Elastin akan semakin berkurang seiring

dengan bertambahnya usia seseorang. Kehilangan atau berkurangnya elastin akan mengakibatkan kulit menjadi berkerut (Weihermann dkk, 2017).

2.5 Mencit (*Mus Musculus*)



Gambar 2. 5 Mencit (*mus musculus*)

Hewan coba atau biasa disebut sebagai hewan laboratorium merupakan hewan khusus dibudidayakan untuk keperluan penelitian biologi, biofisika, serta kedokteran. Hewan ini dimanfaatkan sebagai model untuk mengkaji pengaruh senyawa kimia atau obat atau lama paparan terhadap manusia. Beberapa jenis hewan dari yang berukuran kecil dan sederhana hingga lebih besar dan kompleks digunakan untuk keperluan penelitian. Salah satunya hewan yang sering digunakan adalah mencit (Weliyani dkk, 2008).

Mencit putih (*Mus Musculus*) merupakan salah satu kelompok hewan animalia. mencit memiliki ukuran dan berat badan lebih kecil dari tikus. Ciri umum mencit yaitu memiliki warna kulit rambut tubuh putih atau keabu-abuan dengan perut sedikit pucat dan mata berwarna merah atau hitam. Organ pencernaan mencit sama seperti mamalia lain yang terdiri dari esofagus, lambung, duodenum, jejunum, ileum, sekum, kolon, dan rektum (Hasanah, Rusny, & Masri, 2015).

Mencit merupakan hewan yang sering digunakan sebagai hewan percobaan laboratorium sekitar 40-80% penggunaannya. Mencit

mempunyai banyak keunggulan sebagai hewan percobaan, yaitu diantaranya siklus hidup yang relatif pendek, jumlah anak per kelahirannya banyak, dan mudah dalam penangannya (Rejeki, Putri, & Prasetya, 2018). Kriteria mencit yang akan digunakan pada penelitian ini adalah mencit dengan jenis kelamin jantan dewasa dengan usia minimal 35 hari dan memiliki berat sekitar 20-40 gram (Pangestu, Aisyah, & Hardiana, 2023). Menurut Guneberg (1943) mengklasifikasikan mencit sebagai berikut:

Kingdom : Animalia

Filum : Chordata

Kelas : Mamalia

Ordo : Rodentia

Famili : Murinane

Genus : Mus

Spesies : *Mus musculus L.*

2.6 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang dilakukan oleh Chang et al. (2025) berjudul “*Red light promotes dermis–epidermis remodeling via TGFβ and AKT-mediated collagen dynamics in naturally aging mice*” menunjukkan bahwa terapi cahaya merah dapat meningkatkan kualitas struktur kulit pada mencit yang mengalami penuaan alami. Dalam penelitian tersebut, mencit tua (18–20 bulan) diberikan paparan cahaya LED merah 630–635 nm selama 20 menit per hari selama 28 hari. Hasil penelitian memperlihatkan peningkatan

sintesis kolagen, ketebalan dermis, serta elastisitas kulit melalui aktivasi jalur molekuler TGF β dan AKT yang berperan dalam proses regenerasi jaringan. Chang et al. menyimpulkan bahwa cahaya merah mampu memperbaiki struktur dermis–epidermis dan memberikan efek anti-penuaan secara signifikan.

Penelitian yang dilakukan oleh *Avci et al. (2013)* menunjukkan bahwa terapi cahaya LED merah mampu meningkatkan regenerasi jaringan kulit melalui peningkatan aktivitas mitokondria dan sintesis kolagen. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa LED merah memberikan efek penyembuhan dan peningkatan kualitas kulit.

Penelitian lain oleh *Lee et al. (2007)* melakukan uji klinis pada manusia untuk melihat efek paparan LED merah terhadap rejuvenasi kulit. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan signifikan kedalaman kerutan dan peningkatan elastisitas setelah 12 minggu perlakuan.

Menurut *Hamblin (2017)*, LED merah mampu meningkatkan produksi ATP dan memperbaiki metabolisme sel, namun belum ada penentuan waktu paparan terbaik yang optimal untuk mendapatkan hasil maksimal.

Penelitian *Hachmo et al. (2021)* menjelaskan pengaruh terapi oksigen hiperbarik terhadap penuaan kulit, menunjukkan bahwa stimulus eksternal berperan meningkatkan kolagen dan elastin, namun penelitian ini tidak menggunakan LED merah dan tidak meneliti waktu paparan.

Berdasarkan *Festing (2006)*, penggunaan model hewan seperti mencit memberikan kontrol biologis yang baik dalam studi perubahan kulit, karena

mencit memiliki struktur kulit yang mirip manusia dan mudah dimanipulasi variabel penelitiannya.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini bersifat eksperimental kuantitatif. Rancangan penelitian yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL). Penelitian ini menggunakan lima variasi perlakuan lama paparan LED merah 660 nm selama 0 menit (kontrol), 5 menit, 10 menit, 15 menit, dan 20 menit per hari dengan pengulangan sebanyak tiga kali. Pengamatan dilakukan terhadap parameter presentase kolagen, ketebalan epidermis, dan elastisitas kulit mencit pada hari ke - 7, 14, dan 21 hari.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan mulai Bulan Desember s/d Januari 2025 di Laboratorium Biofisika Jurusan Fisikadan Laboratorium Fisiologi Hewan Jurusan Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

3.3 Variabel Penelitian

Penelitian ini menggunakan tiga jenis variabel, yaitu variabel independen, variabel dependen, dan variabel control.

3.3.1 Variabel Bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah lama paparan LED merah 660 nm dengan variasi waktu 0 menit (kontrol), 5 menit, 10 menit, 15 menit, dan 20 menit per hari.

3.3.2 Variabel Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah presentase area kolagen, ketebalan epidermis, dan elastisitas mencit (*Mus musculus*).

3.3.3 Variabel Kontrol

Variabel kontrol dalam penelitian ini meliputi intensitas cahaya LED merah, panjang gelombang, suhu ruangan, kondisi lingkungan kandang, serta pakan standar yang digunakan untuk meminimalkan bias selama penelitian.

3.4 Alat Dan Bahan

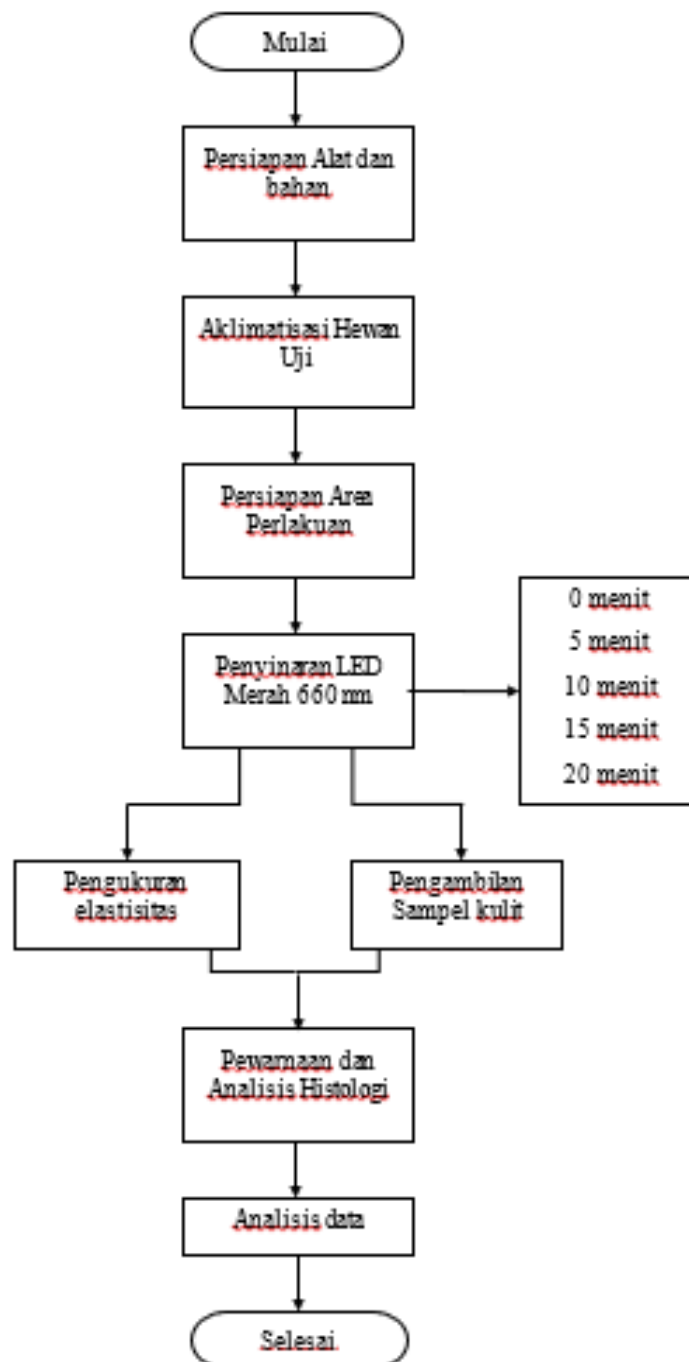
3.4.1 Alat

1. LED Merah 660 nm (irradiasi $\pm 20 \text{ mW/cm}^2$)
2. Kandang mencit
3. Kamera HP
4. Digital caliper
5. Software imagej
6. Alat bedah steril (pisau cukur, pinset, gunting; disterilkan dengan alkohol 70%).
7. Environment Meter
8. Timer
9. Mikroskop Cahaya
10. Water Bath
11. Mikrotom
12. Object glass
13. Papan Lilin

3.4.2 Bahan

1. Mencit jantan 20 ekor
2. Pakan mencit
3. Air
4. Formalin 10% (untuk fiksasi jaringan)
5. Reagen pewarnaan *Hematoxylin-Eosin* (H&E)
6. Petroleum jelly (untuk pencegahan iritasi)
7. Anestesi ketamin (100 mg/kg BB untuk eutanasi)
8. Lidokain 2% (untuk anestesi lokal).
9. Alat Pelindung Diri
10. Reagen pewarnaan *Masson Trichrome* (MT)
11. Parafin
12. Etanol 70 %
13. Sekam
14. Larutan Xylol

3.5 Diagram Alir



3.6 Prosedur Penelitian

3.6.1 Aklimatisasi Hewan Uji

- a) Sebelum perlakuan dimulai, semua mencit ditempatkan di kandang laboratorium selama 7 hari untuk beradaptasi dengan lingkungan baru.
- b) Suhu ruangan dijaga pada kisaran 24–26°C, dengan siklus terang–gelap 12:12 jam.
- c) Selama masa aklimatisasi, mencit diberi pakan dan air minum secara *ad libitum* (bebas).
- d) Kondisi kesehatan hewan diamati setiap hari, termasuk aktivitas, berat badan, dan kondisi kulit.

3.6.2 Persiapan Area Perlakuan

- a) Setelah masa aklimatisasi, bagian tubuh punggung mencit dicukur selebar 4×4 cm menggunakan alat cukur steril.
- b) Area kulit yang dicukur dibersihkan menggunakan kapas alkohol agar cahaya LED dapat menembus kulit secara optimal.
- c) Mencit kemudian dikelompokkan menjadi lima kelompok perlakuan (K_0 – K_4) sesuai variasi waktu paparan LED merah.

3.6.3 Pemberian Perlakuan LED Merah 660 nm

- a) LED merah dengan panjang gelombang 660 nm dihubungkan dengan sumber daya dan diatur menggunakan timer digital sesuai lama paparan (0, 5, 10, 15, 20 menit).
- b) Mencit diletakkan secara individual di bawah cahaya LED pada jarak 10 cm dari permukaan kulit.
- c) Intensitas cahaya dijaga konstan sebesar $\pm 20 \text{ mW/cm}^2$ menggunakan alat pengukur intensitas (Enveroment Meter).
- d) Paparan dilakukan sekali setiap hari selama 30 hari berturut-turut pada jam yang sama setiap harinya.
- e) Selama proses paparan, suhu ruangan tetap dijaga agar tidak menyebabkan panas berlebih pada kulit mencit.
- f) Setelah selesai, mencit dikembalikan ke kandang dan diamati kondisinya.

3.6.4 Pengukuran Elastisitas Kulit

- a) Uji elastisitas dilakukan menggunakan metode pinch test dengan digital caliper. Pengukuran dilakukan sebanyak dua kali, yaitu sebelum paparan (U_f) dan sesudah paparan LED merah (U_a).
- b) Nilai tinggi lipatan kulit dalam satuan milimeter (mm) pada setai pengukuran.
- c) Hasil elastisitas dinyatakan dalam bentuk rasio u_a/u_f , yang menggambarkan kemampuan kulit untuk kembali ke kondisi semula setelah diberikan tekanan.

- d) Pengukuran dilakukan tiga kali pengulangan untuk setiap mencit, lalu dihitung rata-ratanya.
- e) Nilai rasio U_a/U_f yang semakin mendekati 1 menunjukkan elastisitas kulit yang semakin baik.

3.6.5 Pengambilan Sampel Kulit

- a) Setelah masa perlakuan selesai, mencit dianestesi ringan untuk meminimalkan rasa sakit.
- b) Sampel kulit diambil dari area punggung atau sekitar perut yang telah dipapar cahaya LED.
- c) Potongan jaringan kulit kemudian direndam dalam larutan formalin 10% untuk proses pembuatan preparat histologi.
- d) Sampel diberi kode sesuai kelompok perlakuan agar hasil dapat diidentifikasi dengan tepat.

3.6.6 Pewarnaan Jaringan dan Analisis Histologi

- a. Pewarnaan Masson Trichrome (Analisis Kolagen)
 - a) Sampel kulit yang sudah direndam, diproses melalui tahapan dehidrasi, clearing, dan embedding menggunakan parafin.
 - b) Setelah itu, potongan jaringan dibuat dengan ketebalan 4–5 μm menggunakan mikrotom.
 - c) Potongan jaringan kemudian diwarnai menggunakan pewarnaan Masson Trichrome untuk melihat serat kolagen (berwarna biru).

- d) Hasil pengamatan dilakukan menggunakan mikroskop cahaya, dan gambar dianalisis menggunakan software ImageJ untuk menghitung persentase area kolagen.

$$\% \text{ area kolagen} = (\text{area kolagen} / \text{total area jaringan}) \times 100\%$$

b. Pewarnaan Hematoksilin-Eosin (Ketebalan Epidermis)

- a) Potongan jaringan diwarnai menggunakan pewarnaan *Hematoksilin-Eosin* (H&E).
- b) Pengamatan dilakukan di bawah mikroskop cahaya dengan pembesaran yang sesuai.
- c) Ketebalan epidermis diukur pada tiga titik berbeda, lalu hasilnya dirata-ratakan dan dinyatakan dalam satuan mikrometer (μm).

3.7 Teknik Pengambilan Data

3.7.1 Presentase Area Kolagen

Pengukuran presentase area kolagen diambil dari hasil pewarnaan jaringan menggunakan metode *Masson Trichrome* yang telah diberi perlakuan penyinaran LED Merah dengan variasi waktu dan pewarnaan. Kemudian di catat dan diolah pada tabel 3.

Tabel 3.1 Pengolahan Data Presentase Area Kolagen.

kelompok	Lama Paparan (Menit)	Presentase Area Kolagen (%)			Rata-Rata	SD
		1	2	3		
kontrol	0 menit					
Paparan LED Merah	5 menit					
	10 menit					
	15 menit					
	20 menit					

3.7.2 Ketebalan Epidermis

Data diperoleh dari hasil pewarnaan *Hematoksilin-Eosin* menggunakan pengamatan dibawah mikroskop dengan pembesaran yang sesuai. Sehingga ketebalan epidermis diukur pada tiga titik yang berbeda dan dinyatakan dalam satuan mikrometer (μm). Kemudian dicatat dan diolah pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Pengambilan Data Ketebalan Epidermis.

kelompok	Lama paparan (Menit)	Ketebalan Epidermis (μm)			Rata-Rata	SD
		1	2	3		
kontrol	0 menit					
Paparan LED merah	5 menit					
	10 menit					
	15 menit					
	20 menit					

3.7.3 Elastisitas Kulit

Data diperoleh dari hasil penjepitan kulit mencit menggunakan digital caliper yang dinamakan metode *pinch test*. Pengukuran dilakukan sebanyak dua kali pada area yang sama, yaitu sebelum paparan LED merah (U_f) dan sesudah paparan LED merah (U_a), dengan satuan milimeter (mm). Nilai elastisitas kulit kemudian dihitung sebagai rasio U_a/U_f untuk menggambarkan kemampuan kulit kembali ke kondisi semula setelah diberi tekanan. Hasil perhitungan rasio tersebut kemudian dicatat dan diolah pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Pengambilan Data Uji Elastisitas

Kelompok	Lama Paparan (menit)	Elastisitas (mm)			Rata-Rata	SD
		1	2	3		
Kontrol	0 menit					
Paparan LED merah	5 menit					
	10 menit					
	15 menit					
	20 menit					

3.8 Analisis Data

Analisis data yang dilakukan secara statistik menggunakan program SPSS versi 22 untuk mengetahui pengaruh lama paparan LED merah 660 nm terhadap presentase area kolagen, ketebalan epidermis, dan elastisitas kulit mencit. Uji normalitas data dilakukan menggunakan Shapiro-Wilk test karena jumlah sampel < 50 . Data dikatakan berdistribusi normal apabila nilai signifikansi (p) $> 0,05$. Selanjutnya dilakukan uji homogenitas varians menggunakan Levene's Test untuk mengetahui kesamaan varians antar kelompok perlakuan. Data dinyatakan homogen apabila nilai signifikansi (p) $> 0,05$. Apabila data memenuhi kedua asumsi (normal dan homogen), maka dilakukan uji One Way ANOVA untuk mengetahui ada atau tidaknya perbedaan yang signifikan antar kelompok perlakuan. Perbedaan dianggap signifikan apabila nilai $p < 0,05$. Jika hasil ANOVA menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan, maka analisis dilanjutkan dengan uji Post Hoc Duncan (Duncan's Multiple Range Test/DMRT) untuk mengetahui kelompok perlakuan mana yang memiliki perbedaan signifikan terhadap presentase area kolagen, ketebalan epidermis, maupun elastisitas kulit.

Apabila data tidak berdistribusi normal atau tidak homogen, maka digunakan uji non-parametrik Kruskal-Wallis sebagai alternatif untuk mengetahui perbedaan antar kelompok perlakuan.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dimulai pada tanggal 26 Februari 2026 dengan variasi lama paparan Kontrol, 5 menit, 10 menit, 15 menit, dan 30 menit. Sumber cahaya yang digunakan berupa lampu LED berwarna merah dengan intensitas sebesar 200 lux. Paparan LED dilakukan di ruangan tertutup tanpa adanya cahaya lain, kecuali pada kontrol (tanpa paparan LED). Setiap perlakuan diulang sebanyak 3 kali (triplo). Variabel yang diamati dalam penelitian ini meliputi: Presentase Area Kolagen (%), Ketebalan Epidermis (μm), dan Elastisitas Kulit (mm). Data hasil pengamatan pengaruh lama paparan LED Merah 660 nm terhadap presentase area kolagen, ketebalan epidermis, serta elastisitas pada mencit (*mus musculus*) disajikan dalam bentuk grafik dan tabel.

4.1 Data Hasil

4.1.1 Pengaruh LED Merah Terhadap Presentase Area kolagen

Pengukuran presentase area kolagen dilakukan setelah pemberian perlakuan pada masing-masing kelompok. Preparat jaringan kulit yang telah melalui proses pewarnaan histologis diamati menggunakan mikroskop, kemudian dianalisis secara kuantitatif menggunakan perangkat lunak ImageJ untuk menentukan luas atau intensitas kolagen yang terbentuk. Data yang diperoleh dari setiap sampel kemudian dihitung nilai rata-ratanya untuk masing-masing kelompok perlakuan, sehingga diperoleh gambaran presentase area kolagen yang selanjutnya disajikan dalam Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Hasil presentase area kolagen

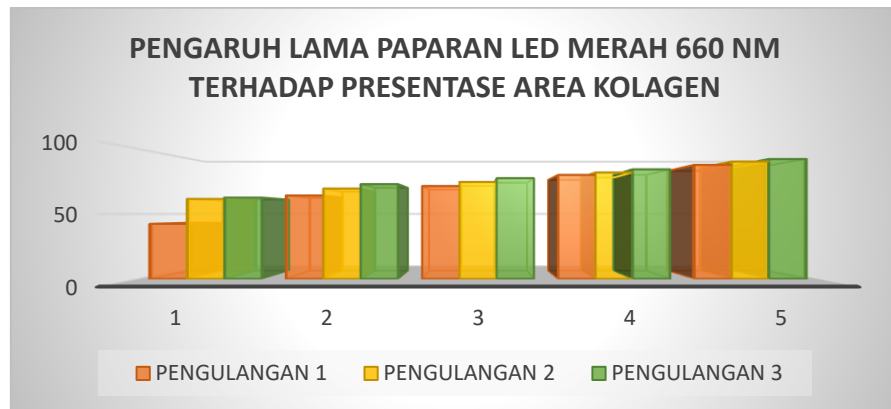
Kelompok	Lama Paparan (menit)	Presentasi Area Kolagen (%)			Rata-rata $\pm$ SD
		1	2	3	
Kontrol	0	42,39	61,59	62,58	55,54 $\pm$ 11,38
Paparan LED Merah 660 Nm	5	64,20	69,52	72,88	68,87 $\pm$ 4,37
	10	71,40	74,56	77,46	74,47 $\pm$ 3,02
	15	79,92	81,84	84,26	82,01 $\pm$ 2,17
	20	87,65	90,26	92,17	90,02 $\pm$ 2,26

Berdasarkan data pada Tabel 4.1, terdapat perbedaan area kolagen antara kelompok kontrol dan kelompok perlakuan dengan variasi durasi paparan LED merah. Pada kelompok kontrol (0 menit), rata-rata presentase area kolagen sebesar 55,54 %. Pada kelompok perlakuan dengan durasi paparan 5 menit, rata-rata presentase area kolagen mengalami peningkatan menjadi 68,87 %. Peningkatan yang lebih jelas terlihat pada kelompok dengan durasi paparan 10 menit, dengan rata-rata sebesar 74,47%.

Selanjutnya, pada kelompok dengan durasi paparan 15 menit, rata-rata kadar kolagen meningkat secara signifikan menjadi 82,01%. Sementara itu, pada durasi paparan 20 menit, diperoleh rata-rata presentase area kolagen tertinggi, yaitu sebesar 90,02%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan presentase area kolagen cenderung terjadi seiring dengan bertambahnya durasi paparan LED merah.

Hasil pengamatan tersebut kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.1, yang memperlihatkan pengaruh durasi paparan LED merah terhadap presentase area kolagen. Gambar 4.1 menunjukkan bahwa presentase area kolagen pada kelompok perlakuan mengalami

peningkatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kelompok kontrol. Selain itu, terlihat bahwa durasi paparan yang lebih lama memberikan pengaruh yang lebih besar terhadap peningkatan presentase area kolagen.



Gambar 4. 1 Grafik Pengaruh LED Terhadap presentase area Kolagen

Berdasarkan hasil grafik, terlihat bahwa peningkatan lama paparan memberikan pengaruh terhadap peningkatan nilai parameter yang diamati. Pada kelompok kontrol (0 menit), nilai yang diperoleh masih relatif rendah dibandingkan dengan kelompok perlakuan.

Pada paparan 5 menit, peningkatan mulai terlihat namun belum signifikan. Selanjutnya, pada paparan 10 menit terjadi peningkatan yang lebih jelas. Peningkatan paling signifikan terjadi pada paparan 15 menit, di mana nilai parameter meningkat tajam dibandingkan paparan sebelumnya. Nilai maksimum diperoleh pada paparan 20 menit, yang menunjukkan hasil tertinggi dibandingkan seluruh kelompok perlakuan.

Secara umum, hasil grafik menunjukkan bahwa semakin lama durasi paparan, maka nilai parameter yang diamati cenderung meningkat. Hal ini mengindikasikan adanya hubungan berbanding lurus antara lama paparan dengan peningkatan hasil pengukuran.

Untuk mengetahui signifikansi pengaruh lama paparan terhadap parameter yang diamati, selanjutnya dilakukan analisis menggunakan uji One Way Anova. Hasil analisis tersebut disajikan pada tabel berikutnya.

Tabel 4. 2 Hasil Uji One Way Anova presentase area kolagen

Uji Anova					
	Sum Of Square	df	Mean square	F hitung	Sig.
Between Group	2066,484	4	516,621	15,402	0,000
Within Group	335,422	10	33,542		
Total	2401,906	14			

Data pada tabel 4.2 hasil uji One Way ANOVA, diperoleh nilai F hitung sebesar 15,402 dengan nilai signifikansi sebesar 0,000 ($p < 0,05$). Hal ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antar kelompok perlakuan lama paparan terhadap presentase area kolagen. Nilai variasi antar kelompok yang lebih besar dibandingkan variasi dalam kelompok mengindikasikan bahwa perlakuan memberikan pengaruh yang kuat terhadap peningkatan presentase area kolagen.

Tabel 4. 3 Hasil Uji Duncan Pengaruh lama paparan led merah terhadap presentase area kolagen.

Lama Paparan	presentase area Kolagen (%)	Notasi
Kontrol	55,52	a
5	68,87	b
10	74,47	bc
15	82,01	cd
20	90,02	d

Berdasarkan tabel 4.3 Hasil uji lanjut Duncan DMRT menunjukkan bahwa kelompok kontrol berbeda signifikan dari semua kelompok lain. Kelompok 5 dan 10 menit tidak mengalami perbedaan signifikan, tetapi berbeda signifikan dari kelompok kontrol, 15, dan 20 menit. Kelompok 15 menit dan 20 menit tidak berbeda signifikan. Jadi pada penelitian ini mengalami peningkatan secara konsisten dari kelompok kontrol sampai 20 menit, dengan kelompok yang berdekatan.

4.1.2 Pengaruh LED Merah Terhadap Ketebalan Epidermis

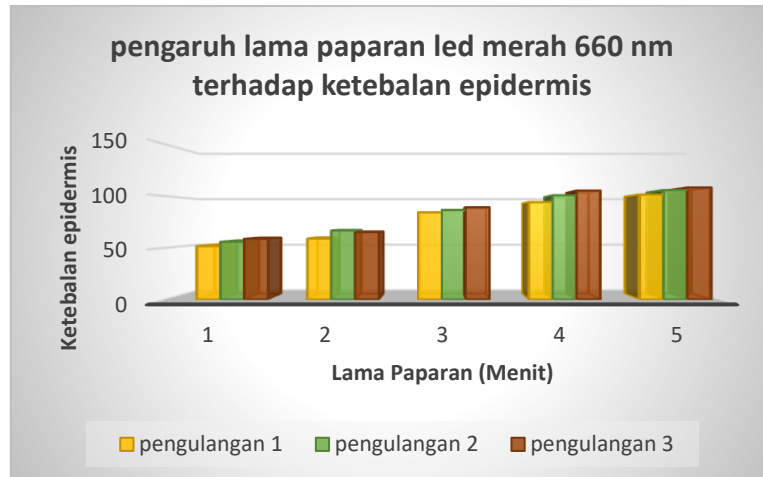
Pengukuran ketebalan epidermis dilakukan setelah pemberian perlakuan pada masing-masing kelompok. Preparat jaringan kulit yang telah melalui proses pewarnaan histologis diamati menggunakan mikroskop, kemudian dilakukan pengukuran ketebalan epidermis secara kuantitatif menggunakan perangkat lunak ImageJ dengan satuan mikrometer (μm). Pengukuran dilakukan pada beberapa titik bidang pandang untuk meningkatkan akurasi, kemudian hasilnya dirata-ratakan untuk setiap sampel. Data yang diperoleh dari setiap sampel selanjutnya dihitung nilai rata-ratanya untuk masing-masing kelompok perlakuan, sehingga diperoleh gambaran ketebalan epidermis yang kemudian disajikan dalam Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Hasil ketebalan epidermis

Kelompok	Lama Paparan (menit)	Ketebalan Epidermis(μm)			Rata-rata $\pm$ SD
		1	2	3	
Kontrol	0	51,66	55,82	58,69	55,4 $\pm$ 3.53
Paparan LED Merah 660 Nm	5	58,99	65,18	66,76	63,64 $\pm$ 4,10
	10	84,39	86,68	89,25	86,77 $\pm$ 2,43
	15	94,23	100,84	105,34	100,13 $\pm$ 5,58
	20	103,52	105,81	108,30	105.87 $\pm$ 2.38

Berdasarkan data pada Tabel 4.4, terlihat adanya peningkatan ketebalan epidermis seiring dengan bertambahnya lama paparan LED merah 660 nm. Pada kelompok kontrol (0 menit), rata-rata ketebalan epidermis sebesar $55,4 \pm 3,53 \mu\text{m}$. Setelah diberikan paparan LED merah selama 5 menit, rata-rata ketebalan epidermis meningkat menjadi $63,64 \pm 4,10 \mu\text{m}$. Peningkatan yang lebih signifikan terlihat pada paparan 10 menit dengan rata-rata sebesar $86,77 \pm 2,43 \mu\text{m}$. Selanjutnya, pada paparan 15 menit, ketebalan epidermis mencapai rata-rata $100,13 \pm 5,58 \mu\text{m}$. Ketebalan epidermis tertinggi diperoleh pada paparan 20 menit dengan rata-rata sebesar $105,87 \pm 2,38 \mu\text{m}$.

Hasil pengamatan tersebut kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.4, yang memperlihatkan pengaruh durasi paparan LED merah terhadap ketebalan epidermis. Gambar 4.2 hasil ini menunjukkan bahwa semakin lama durasi paparan LED merah, semakin meningkat ketebalan epidermis, yang mengindikasikan adanya respon proliferasi sel epidermis terhadap stimulasi cahaya LED merah.



Gambar 4. 2 Pengaruh Lama Paparan terhadap Ketebalan Epidermis.

Berdasarkan hasil grafik ketebalan epidermis, terlihat bahwa peningkatan lama paparan LED merah memberikan pengaruh terhadap peningkatan ketebalan epidermis yang diamati. Pada kelompok kontrol (0 menit), ketebalan epidermis yang diperoleh masih relatif rendah dibandingkan dengan kelompok perlakuan.

Pada paparan 5 menit, peningkatan mulai terlihat meskipun belum terlalu besar. Selanjutnya, pada paparan 10 menit terjadi peningkatan yang lebih jelas dibandingkan dengan paparan sebelumnya. Peningkatan yang cukup besar terlihat pada paparan 15 menit, di mana ketebalan epidermis bertambah lebih tinggi dibandingkan kelompok 10 menit. Nilai tertinggi diperoleh pada paparan 20 menit, yang menunjukkan ketebalan epidermis paling besar di antara seluruh kelompok perlakuan.

Secara umum, hasil grafik menunjukkan bahwa semakin lama durasi paparan LED merah, maka ketebalan epidermis cenderung meningkat. Hal ini mengindikasikan adanya hubungan yang searah antara lama paparan dengan peningkatan ketebalan epidermis.

Untuk mengetahui signifikansi pengaruh lama paparan terhadap ketebalan epidermis, selanjutnya dilakukan analisis menggunakan uji One Way ANOVA. Hasil analisis tersebut disajikan pada tabel berikutnya.

Tabel 4. 5 Hasil Uji One Way Anova Ketebalan Epidermis

Uji Anova					
	Sum Of Square	df	Mean square	F hitung	Sig.
Between Group	5898,479	4	1474,620	102,069	0.000
Whitin Group	144,473	10	14,447		
Total	6042,952	14			

Berdasarkan hasil uji ANOVA pada ketebalan epidermis, diperoleh nilai signifikansi sebesar 0,000 ($p < 0,05$), yang menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara kelompok kontrol dan kelompok perlakuan. Nilai F hitung sebesar 102,069 juga menunjukkan bahwa variasi perlakuan memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap ketebalan epidermis.

Tabel 4. 6 Hasil uji Duncan DMRT Pengaruh lama paparan led merah terhadap ketebalan epidermis.

Lama Paparan	Ketebalan Epidermis (μm)	Notasi
Kontrol	55,4	a
5	63,64	b
10	86,77	c
15	100,13	d
20	105,87	d

Berdasarkan hasil uji lanjut Duncan DMRT menunjukkan bahwa setiap kelompok perlakuan memiliki notasi yang berbeda, kecuali pada perlakuan 15 menit dan 20 menit yang memiliki notasi sama. Kelompok kontrol (0 menit) berada pada notasi a dengan rata-rata ketebalan epidermis sebesar 55,4 μm . Perlakuan 5 menit berada pada notasi b dengan rata-rata 63,64 μm , yang menunjukkan adanya perbedaan signifikan dibandingkan kelompok kontrol. Perlakuan 10 menit berada pada notasi c dengan rata-rata ketebalan epidermis sebesar 86,77 μm , sehingga berbeda signifikan dengan kelompok kontrol dan perlakuan 5 menit. Sementara itu, perlakuan 15 menit dan 20 menit berada pada notasi d dengan rata-rata masing-masing sebesar 100,13 μm dan 105,88 μm . Hal ini menunjukkan bahwa kedua perlakuan tersebut tidak berbeda signifikan satu sama lain, namun berbeda signifikan dibandingkan kelompok perlakuan lainnya serta memiliki ketebalan epidermis paling tinggi.

4.1.3 Pengaruh LED Merah Terhadap Elastisitas

Pengukuran elastisitas kulit dilakukan setelah pemberian perlakuan pada masing-masing kelompok menggunakan alat pengukur elastisitas kulit. Nilai elastisitas diperoleh berdasarkan parameter rasio elastisitas (nilai U_a/U_f) yang menunjukkan kemampuan kulit untuk kembali ke kondisi semula setelah diberikan tekanan. Data yang diperoleh dari setiap sampel kemudian dihitung nilai rata-ratanya untuk masing-masing kelompok perlakuan, sehingga diperoleh gambaran tingkat elastisitas kulit yang selanjutnya disajikan dalam Tabel 4.3.

Tabel 4. 7 Hasil Elastisitas

Kelompok	Lama Paparan (menit)	Elastisitas			Rata-rata $\pm$ SD
		1	2	3	
Kontrol	0	0,43	0,46	0,49	$0,46 \pm 0,03$
Paparan LED Merah 660 Nm	5	0,58	0,61	0,63	$0,61 \pm 0,02$
	10	0,67	0,71	0,74	$0,71 \pm 0,03$
	15	0,75	0,78	0,81	$0,78 \pm 0,03$
	20	0,84	0,87	0,93	$0,88 \pm 0,04$

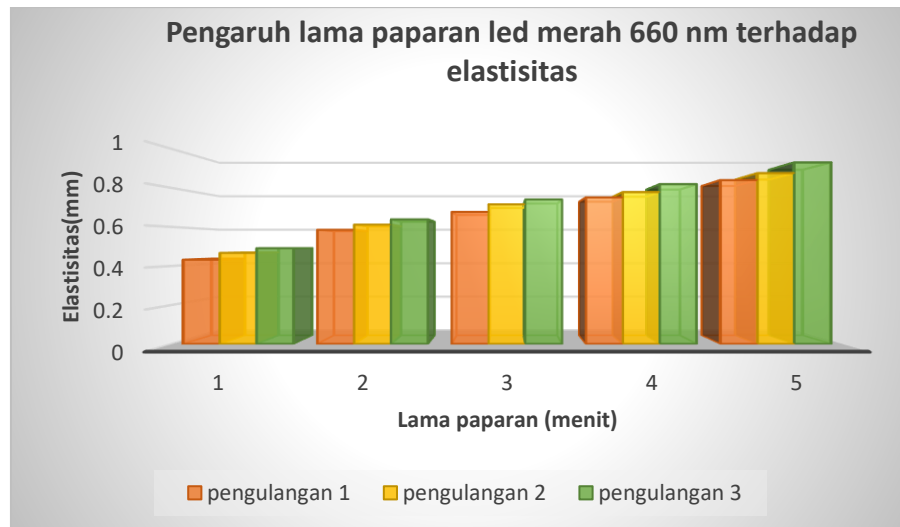
Berdasarkan data pada Tabel 4.7, terlihat bahwa peningkatan lama paparan LED merah 660 nm memberikan pengaruh terhadap nilai elastisitas kulit yang diamati. Pada kelompok kontrol (0 menit), nilai elastisitas yang diperoleh masih relatif rendah, yaitu sebesar $0,46 \pm 0,03$ dibandingkan dengan kelompok perlakuan.

Pada paparan 5 menit, elastisitas mulai mengalami peningkatan menjadi $0,61 \pm 0,02$. Selanjutnya, pada paparan 10 menit terjadi peningkatan yang lebih jelas dengan nilai sebesar $0,71 \pm 0,03$. Peningkatan ini masih berlanjut pada paparan 15 menit, di mana elastisitas mencapai $0,78 \pm 0,03$.

Nilai elastisitas tertinggi diperoleh pada paparan 20 menit, yaitu sebesar $0,88 \pm 0,04$, yang menunjukkan hasil paling tinggi dibandingkan seluruh kelompok perlakuan.

Hasil pengamatan tersebut kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.3, yang memperlihatkan pengaruh durasi paparan LED merah terhadap elastisitas. Gambar 4.3 hasil ini menunjukkan bahwa semakin lama durasi paparan LED merah, semakin meningkat ketebalan epidermis, yang mengindikasikan adanya respon proliferasi sel epidermis terhadap stimulasi cahaya LED merah. Secara keseluruhan, data

menunjukkan bahwa semakin lama durasi paparan LED merah, maka nilai elastisitas kulit cenderung meningkat.



Gambar 4. 3 Pengaruh Lama Paparan Terhadap Elastisitas.

Berdasarkan hasil grafik elastisitas (U_a/U_f), terlihat bahwa peningkatan lama paparan LED merah 660 nm memberikan pengaruh terhadap peningkatan nilai elastisitas kulit yang diamati. Pada kelompok kontrol (0 menit), nilai elastisitas masih berada pada kondisi paling rendah dibandingkan seluruh kelompok perlakuan.

Pada paparan 5 menit, mulai terlihat adanya peningkatan nilai elastisitas meskipun masih relatif kecil. Selanjutnya, pada paparan 10 menit terjadi peningkatan yang lebih jelas dibandingkan kelompok sebelumnya. Peningkatan yang lebih lanjut kembali terlihat pada paparan 15 menit, di mana nilai elastisitas semakin meningkat dibandingkan kelompok 10 menit. Nilai tertinggi diperoleh pada paparan 20 menit, yang menunjukkan elastisitas paling besar di antara seluruh kelompok perlakuan.

Secara umum, hasil grafik menunjukkan bahwa semakin lama durasi paparan LED merah 660 nm, maka nilai elastisitas kulit cenderung meningkat. Hal ini mengindikasikan adanya hubungan yang searah antara lama paparan dengan peningkatan elastisitas jaringan kulit.

Untuk mengetahui signifikansi pengaruh lama paparan terhadap elastisitas kulit, selanjutnya dilakukan analisis menggunakan uji One Way ANOVA. Hasil analisis tersebut disajikan pada tabel berikutnya.

Tabel 4. 8 Hasil Uji One Way Anova elastisitas.

Uji Anova					
	Sum Of Square	df	Mean square	F hitung	Sig.
Between Group	0,310	4	0,077	65,485	0,000
Within Group	0,012	10	0,001		
Total	0,312	14			

Berdasarkan hasil uji ANOVA pada parameter elastisitas kulit yang disajikan pada Tabel 4.8, diperoleh nilai F sebesar 65,485 dengan nilai signifikansi sebesar 0,000 ($p < 0,05$). Nilai signifikansi yang lebih kecil dari 0,05 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara kelompok kontrol dan kelompok perlakuan.

Tabel 4. 9 Hasil Uji Duncan Pengaruh lama paparan led merah terhadap elastisitas.

Lama Paparan	Elastisitas (Ua/Uf)	Notasi
Kontrol	0,46	a
5	0,61	b
10	0,71	c
15	0,78	d
20	0,88	e

Berdasarkan Tabel 4.9, hasil uji lanjut Duncan DMRT menunjukkan bahwa kelompok kontrol (0 menit) berada pada notasi a, yang berarti berbeda signifikan dengan seluruh kelompok perlakuan. Kelompok perlakuan 5 menit berada pada notasi b, menunjukkan adanya perbedaan signifikan dengan kelompok kontrol maupun kelompok perlakuan lainnya. Kelompok perlakuan 10 menit berada pada notasi c, menunjukkan adanya perbedaan signifikan dengan kelompok kontrol maupun kelompok perlakuan lainnya. Dan kelompok perlakuan 15 menit pada notasi d, menunjukkan adanya perbedaan signifikan dengan kelompok kontrol maupun kelompok perlakuan lainnya.

Sementara itu, kelompok perlakuan 20 menit berada pada notasi e, yang menunjukkan bahwa kelompok ini berbeda signifikan dengan seluruh kelompok lainnya serta memiliki nilai elastisitas tertinggi.

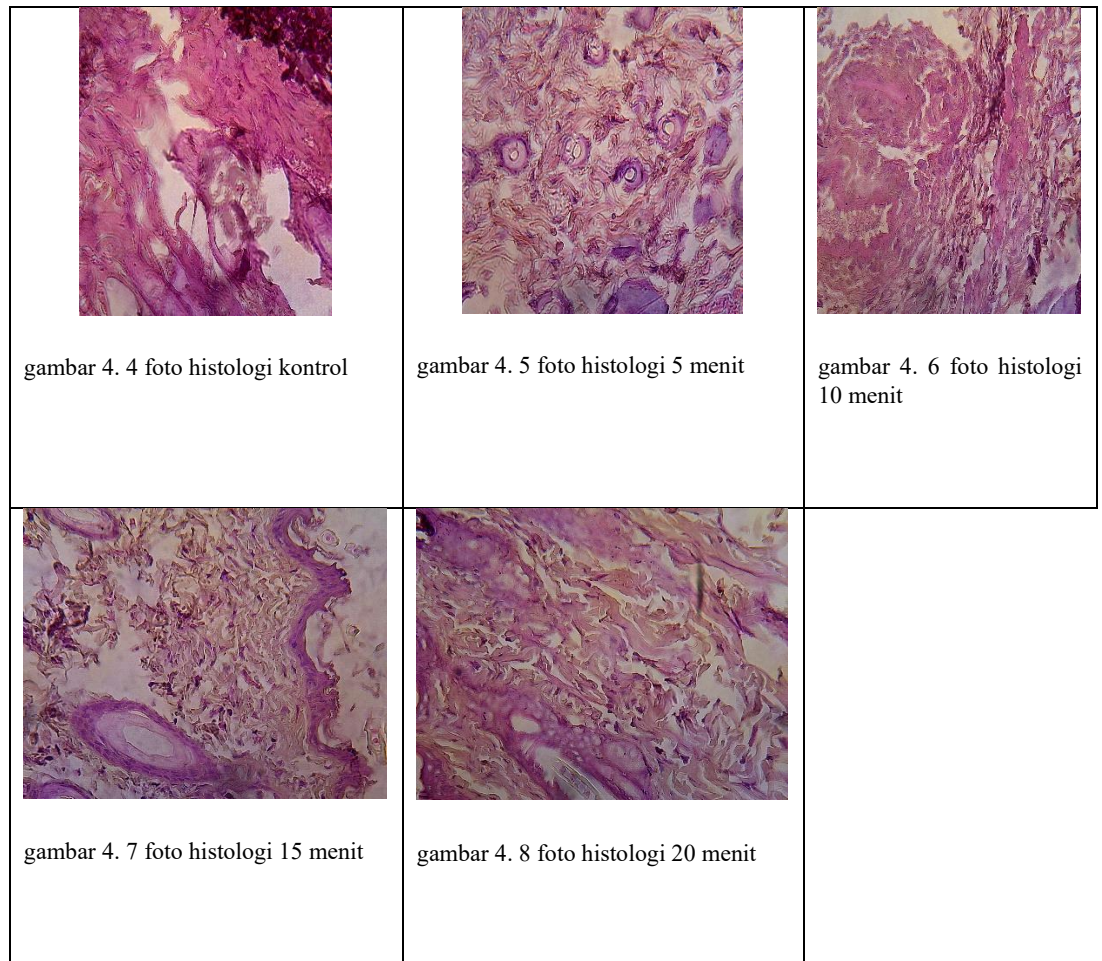
4.2 Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa paparan LED merah 660 nm selama 20 hari memberikan pengaruh nyata terhadap presentase area kolagen, ketebalan epidermis, dan elastisitas kulit mencit. Secara umum, seluruh parameter mengalami peningkatan seiring bertambahnya durasi paparan dari kelompok kontrol hingga kelompok perlakuan 20 menit per hari. Pola peningkatan tersebut menunjukkan adanya respons biologis yang bersifat *dose-dependent* terhadap stimulasi cahaya LED merah pada jaringan kulit.

Temuan ini sejalan dengan penelitian Chang et al (2025), yang menunjukkan bahwa paparan LED merah 630-635 nm selama 28 hari

meningkatkan sintesis kolagen, ketebalan epidermis, dan elastisitas kulit pada mencit tua melalui aktivitas jalur TGF- β dan AKT. Kemudian Hasil yang serupa menurut Lee et al (2007) pada uji klinis manusia, dimana paparan LED merah selama 12 minggu menghasilkan peningkatan signifikan pada kedalaman kerutan dan elastisitas kulit. Selain itu, menurut Avci et al(2013), menunjukkan bahwa terapi LED merah mampu meningkatkan regenerasi jaringan kulit melalui peningkatan aktivitas mitokondria dan sintesis kolagen. Konsistensi hasil penelitian ini dengan penelitian sebelumnya membuktikan bahwa stimulasi *photobiomodulation* oleh LED merah 660 nm berperan dalam memperbaiki kualitas struktural kulit secara bertahap dan bergantung pada durasi paparan.

Berdasarkan pengukuran presentase area kolagen dilakukan setelah pemberian perlakuan pada masing-masing kelompok. Preparat jaringan kulit yang telah melalui proses pewarnaan histologis diamati menggunakan mikroskop, kemudian dianalisis secara kuantitatif menggunakan perangkat lunak ImageJ untuk menentukan luas atau intensitas kolagen yang terbentuk sehingga mendapatkan seperti foto histologi dibawah ini.



Berdasarkan pengamatan histologi jaringan kulit dengan pewarnaan *Masson Trichrome* dengan perbesaran 40 kali disajikan pada gambar 4.4 pada kelompok kontrol yang menunjukkan bahwa serat kolagen terlihat tersebar tidak merata dengan kerapatan rendah, yang mencerminkan kondisi sintesis kolagen tingkat basal dengan bertambahnya durasi paparan LED merah, kerapatan serat kolagen menunjukkan peningkatan kerapatan serat kolagen menunjukkan peningkatan yang progresif. Pada gambar 4.5 dengan paparan 5 menit menunjukkan bahwa peningkatan mulai terlihat sebagai respon awal fibroblas terhadap stimulasi cahaya. Pada gambar 4.6 dengan paparan 10 menit menunjukkan bahwa serat kolagen tampak lebih padat dan mulai tersusun lebih teratur. Pada gambar 4.7 dengan paparan 15 menit

menunjukkan bahwasannya serat kolagen yang semakin padat dan tersusun lebih rapat sehingga mengaktifkan jalur TGF- β yang semakin kuat seiring bertambahnya durasi paparan dan mampu mendorong peningkatan transkripsi gen kolagen oleh fibroblas secara bertahap. Dan pada gambar 4.8 dengan paparan 20 menit mampu menunjukkan kerapatan serat kolagen yang paling tinggi dari seluruh kelompok perlakuan. Pada hasil menit ke-20 dapat mengkonfirmasi bahwa durasi paparan ini mampu memberikan stimulasi *Photobiomodulation* yang optimal terhadap sintesis kolagen pada jaringan kulit.

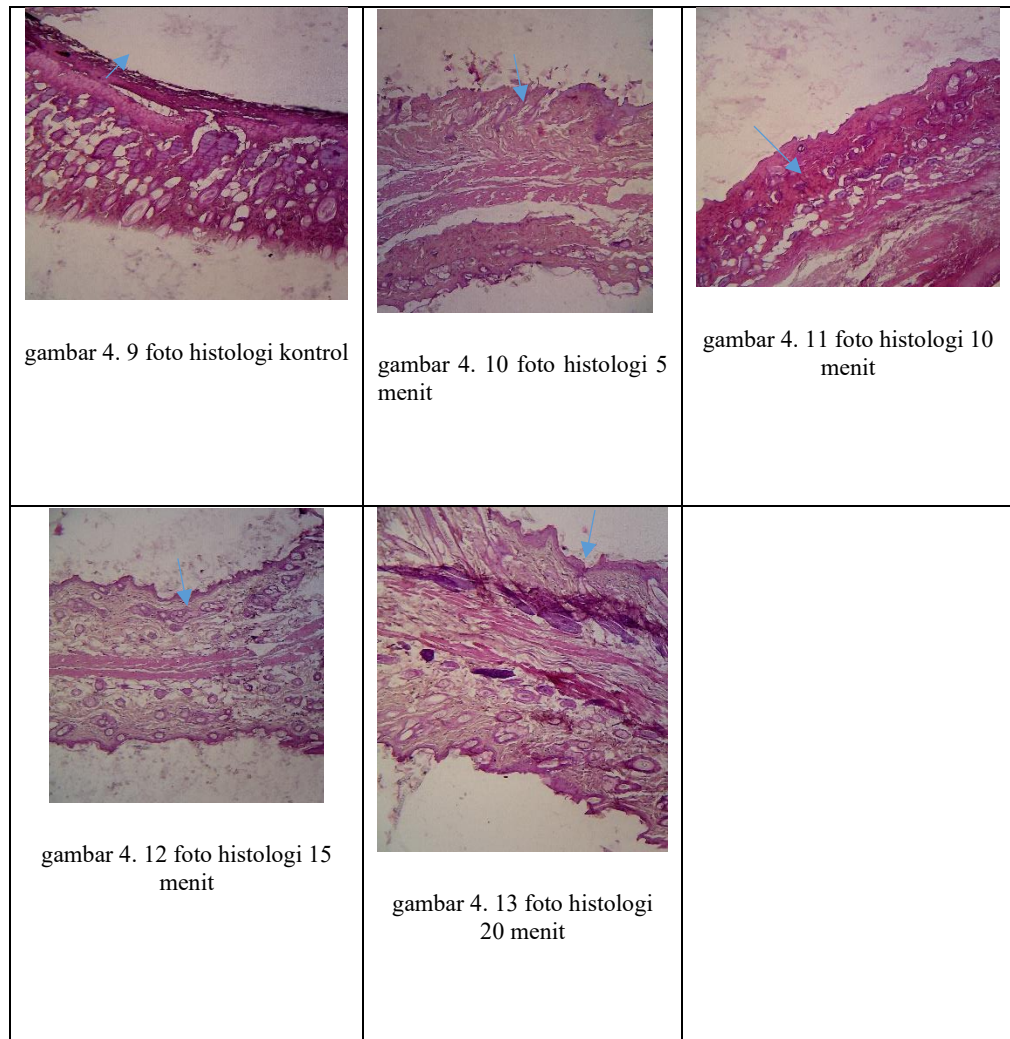
Pada parameter presentase area kolagen, rata-rata persentase area kolagen meningkat secara bertahap dari 55,52% pada kelompok kontrol menjadi 68,87% pada paparan 5 menit, 74,48% pada 10 menit, 82,01% pada 15 menit, dan mencapai 90,02% pada paparan 20 menit per hari. Hasil uji One Way ANOVA menunjukkan adanya perbedaan yang sangat signifikan antar kelompok perlakuan ($F=15,402$; $p=0,000$). Berdasarkan uji lanjut Duncan DMRT, kelompok kontrol dan perlakuan 5 menit tidak berbeda signifikan, sedangkan kelompok 10 menit menunjukkan perbedaan nyata dibandingkan kedua kelompok tersebut. Kelompok 15 menit menunjukkan perbedaan nyata dibanding ketiga kelompok tersebut dan 20 menit memberikan peningkatan tertinggi. Peningkatan paling tajam terjadi antara paparan 10 dan 15 menit, yang mengindikasikan adanya peningkatan aktivasi biologis pada durasi tersebut.

Peningkatan presentase area kolagen ini diduga berkaitan dengan mekanisme *photobiomodulation* akibat paparan LED merah. Cahaya LED

merah diserap oleh *cytochrome c oxidase* (CCO) pada mitokondria sehingga meningkatkan aktivitas rantai transpor elektron dan produksi ATP. Peningkatan ATP menyediakan energi yang lebih besar bagi fibroblas untuk melakukan sintesis prokolagen yang kemudian diproses menjadi serat kolagen pada matriks ekstraseluler. Semakin lama durasi paparan, semakin besar energi cahaya yang diserap jaringan sehingga aktivitas metabolisme dan sintesis kolagen juga meningkat.

Selain meningkatkan produksi ATP, paparan LED merah juga memicu pembentukan *reactive oxygen species* (ROS) fisiologis dalam jumlah rendah yang masih dapat dikontrol oleh sistem antioksidan seluler. ROS tersebut berperan sebagai *secondary messenger* yang mengaktifasi jalur transduksi sinyal, terutama TGF- β , sehingga merangsang aktivitas fibroblas dan meningkatkan transkripsi gen kolagen. Mekanisme ini diduga menjadi penyebab meningkatnya presentase area kolagen secara signifikan pada kelompok paparan 15 dan 20 menit. Hasil ini sejalan dengan penelitian Chang et al. (2025) yang menyatakan bahwa terapi cahaya merah mampu mengaktifasi remodeling dermis melalui jalur TGF- β .

Sejalan dengan peningkatan presentase area kolagen, ketebalan epidermis juga menunjukkan pola peningkatan yang konsisten. Berdasarkan preparat jaringan kulit yang telah melalui proses pewarnaan histologis diamati menggunakan mikroskop, kemudian dilakukan pengukuran ketebalan epidermis secara kuantitatif menggunakan perangkat lunak ImageJ dengan satuan mikrometer (μm) sehingga mendapatkan hasil seperti foto histologi dibawah ini.



Berdasarkan pengamatan jaringan kulit pada ketebalan epidermis dengan pewarnaan *Hemaktoxylin-eosin (HE)* dengan perbesarkan 10 kali disajikan pada gambar diatas. Pada gambar 4.9 tanpa paparan menunjukkan lapisan epidermis terlihat relatif tipis dengan susunan serat keratonosit yang rapat dan teratur dengan bertambahnya durasi paparan LED merah, ketebalan epidermis mengalami peningkatan pada gambar 4.10 dengan paparan 5 menit mulai menunjukkan penebalan dibanding dengan kontrol. Pada gambar 4.11 dengan paparan 10 menit menunjukkan bahwa lapisan epidermis tampak lebih tebal dengan jumlah lapisan sel yang bertambah. Peningkatan yang lebih tebal terlihat pada gambar 4.12 dengan paparan 15

menit, lapisan epidermis semakin menebal. Dan ketebalan epidermis yang paling signifikan diperoleh pada gambar 4.13 dengan paparan 20 menit menunjukkan ketebalan yang konsisten. Sehingga hasil ini mengindikasikan bahwa paparan LED merah mampu merangsang proliferasi dan diferensiasi keratinosit sehingga lapisan epidermis mengalami peningkatan ketebalan epidermis seiring bertambahnya durasi paparan.

Ketebalan epidermis meningkat dari $55,4 \pm 3,53 \mu\text{m}$ pada kelompok kontrol menjadi $63,64 \pm 4,10 \mu\text{m}$ pada paparan 5 menit, $86,77 \pm 2,43 \mu\text{m}$ pada 10 menit, $100,13 \pm 5,58 \mu\text{m}$ pada 15 menit, dan $105,87 \pm 2,38 \mu\text{m}$ pada 20 menit. Hasil uji ANOVA menunjukkan adanya pengaruh signifikan variasi lama paparan terhadap ketebalan epidermis ($F=102,069$; $p=0,000$). Berdasarkan uji Duncan DMRT, kelompok kontrol, 5 menit, dan 10 menit masing-masing menunjukkan perbedaan signifikan karena memiliki notasi berbeda. Namun, Perlakuan 15 menit dan 20 menit berada di notasi yang sama sehingga tidak berbeda signifikan satu sama lain..

Peningkatan ketebalan epidermis diduga terjadi akibat stimulasi proliferasi dan diferensiasi keratinosit yang dipengaruhi oleh peningkatan bioenergetik sel setelah paparan LED merah. Produksi ATP yang lebih tinggi mendukung aktivitas metabolisme sel epidermis sehingga proses regenerasi jaringan berlangsung lebih optimal. Namun, pada kelompok 15–20 menit mulai terlihat perlambatan laju peningkatan ketebalan epidermis meskipun nilainya masih mengalami kenaikan secara absolut. Kondisi ini mengindikasikan bahwa respons biologis jaringan mulai mendekati batas efektivitas optimal paparan.

Pada parameter elastisitas kulit, nilai rasio U_a/U_f juga menunjukkan peningkatan dari $0,46 \pm 0,03$ pada kelompok kontrol menjadi $0,61 \pm 0,02$ pada paparan 5 menit, $0,71 \pm 0,03$ pada 10 menit, $0,78 \pm 0,03$ pada 15 menit, dan $0,88 \pm 0,04$ pada 20 menit. Hasil uji Duncan DMRT menunjukkan bahwa setiap kelompok perlakuan memiliki perbedaan nyata. Hal ini menunjukkan bahwa respons elastisitas kulit lebih sensitif terhadap variasi durasi paparan, Hasil ini menunjukkan bahwa semakin lama paparan LED merah, maka elastisitas cenderung semakin meningkat.

Peningkatan elastisitas kulit berkaitan dengan perbaikan matriks ekstraseluler akibat meningkatnya sintesis kolagen dan elastin setelah paparan LED merah. Selain itu, peningkatan mikrosirkulasi jaringan dan aktivitas metabolisme sel turut mendukung proses remodeling jaringan kulit sehingga elastisitas kulit menjadi lebih baik. Dengan demikian, peningkatan elastisitas kulit pada penelitian ini tidak hanya dipengaruhi oleh peningkatan kolagen, tetapi juga oleh perbaikan struktur jaringan kulit secara keseluruhan.

Secara keseluruhan, ketiga parameter yang diamati menunjukkan keterkaitan mekanisme biologis yang sama, yaitu aktivasi *photobiomodulation* akibat paparan LED merah. Aktivasi tersebut meningkatkan produksi ATP, merangsang aktivitas fibroblas dan keratinosit, serta memperbaiki remodeling matriks ekstraseluler sehingga terjadi peningkatan presentase area kolagen, penebalan epidermis, dan peningkatan elastisitas kulit. Berdasarkan hasil penelitian ini, paparan LED merah selama 20 menit per hari memberikan hasil paling optimal

dibandingkan kelompok lainnya. Namun, adanya kecenderungan perlambatan respons pada beberapa parameter menunjukkan bahwa durasi paparan yang lebih panjang masih perlu diteliti lebih lanjut untuk mengetahui batas efektivitas optimal terapi LED merah terhadap jaringan kulit.

4.3 Integrasi Al-Quran

Berdasarkan hasil penelitian, peningkatan lama paparan cahaya LED memberikan pengaruh terhadap ketebalan epidermis, elastisitas kulit, dan presentase area kolagen. Ketiga parameter tersebut menunjukkan peningkatan seiring bertambahnya durasi paparan, yang menandakan adanya respons biologis jaringan terhadap stimulasi cahaya.

Peningkatan ketebalan epidermis terjadi akibat stimulasi proliferasi dan diferensiasi sel epidermal. Paparan cahaya LED diserap oleh kromofor dalam sel, sehingga meningkatkan aktivitas metabolisme dan mempercepat regenerasi jaringan. Hal ini menunjukkan bahwa cahaya berperan sebagai sumber energi yang mampu mengaktifkan proses biologis dalam tubuh.

Selain itu, peningkatan elastisitas kulit yang diamati pada penelitian ini berkaitan erat dengan peningkatan aktivitas fibroblas dalam memproduksi kolagen dan elastin. Proses ini diawali dengan mekanisme *photoexcitation*, yaitu penyerapan energi cahaya yang meningkatkan aktivitas mitokondria dan produksi ATP. Peningkatan energi sel tersebut kemudian merangsang sintesis matriks ekstraseluler, sehingga kulit menjadi lebih elastis.

Hal ini sejalan dengan makna Q.S. An-Nur ayat 35 yang menggambarkan Allah sebagai sumber cahaya langit dan bumi. Ayat

tersebut menunjukkan bahwa cahaya memiliki sifat yang kompleks dan berlapis enjelasan tentang cahaya juga ada dalam Al-Qur'an. Dalam Al-Qur'an juga dijelaskan tentang manfaat penciptaan cahaya untuk membantu aktivitas makhluk hidup. Seperti firman Allah SWT dalam Qs An-Nur ayat 35:

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

Artinya : “ Allah (pemberi) cahaya (pada) langit dan bumi. Perumpamaan cahaya-Nya seperti sebuah lubang (pada dinding) yang tidak tembus yang di dalamnya ada pelita besar. Pelita itu di dalam tabung kaca (dan) tabung kaca itu bagaikan bintang (yang berkilauan seperti) mutiara, yang dinyalakan dengan minyak dari pohon yang diberkahi, (yaitu) pohon zaitun yang tumbuh tidak di timur dan tidak pula di barat, yang minyaknya (saja) hampir-hampir menerangi walaupun tidak disentuh api. Cahaya di atas cahaya (berlapis-lapis). Allah memberi petunjuk menuju cahaya-Nya kepada orang yang Dia kehendaki. Allah membuat perumpamaan-perumpamaan bagi manusia. Allah Maha Mengetahui segala sesuatu ”

Berdasarkan Konteks ini yang dapat dimaknai tidak hanya sebagai cahaya fisik, tetapi juga sebagai sumber kehidupan dan keteraturan. Berdasarkan Tarfsir Ibnu Katsir menjelaskan bahwa "*nūrun 'alā nūr*" bermakna cahaya yang bertingkat dan saling menguatkan satu sama lain, menunjukkan bahwa cahaya Allah menembus segala dimensi alam semesta

tanpa batas. Dalam konteks ilmiah, cahaya yang dimanfaatkan melalui teknologi LED terbukti mampu memberikan efek biologis yang signifikan terhadap jaringan, termasuk dalam meningkatkan elastisitas kulit.

Sejalan dengan itu, peningkatan presentase area kolagen pada kelompok perlakuan menunjukkan bahwa paparan cahaya LED mampu merangsang sintesis protein struktural dalam jaringan. Peningkatan ATP sebagai hasil dari photoexcitation mempercepat aktivitas fibroblas dalam menghasilkan kolagen. Selain itu, paparan cahaya juga berperan dalam menekan pembentukan radikal bebas, sehingga degradasi kolagen dapat diminimalkan dan keseimbangan jaringan tetap terjaga. Lebih lanjut, peran air dalam menjaga kesehatan dan elastisitas kulit juga mendapat pijakan dalam firman Allah SWT dalam Q.S. Al-Anbiya ayat 30:

وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ

“...dan Kami jadikan segala sesuatu yang hidup dari air...” (Q.S. Al-Anbiya: 30)

Ayat ini memiliki relevansi mendalam dengan temuan penelitian ini. Air merupakan komponen utama matriks ekstraseluler kulit dan berperan penting dalam menjaga hidrasi stratum korneum. Berdasarkan Tafsir M. Quraish Shihab mengaitkannya dengan fakta ilmiah bahwa sekitar 70% tubuh manusia tersusun atas air, dan air berperan dalam hampir seluruh reaksi biokimia tubuh, termasuk menjaga fungsi jaringan kulit seperti elastisitas dan hidrasi dermis. Peningkatan elastisitas kulit yang ditemukan pada kelompok perlakuan LED merah erat kaitannya dengan perbaikan matriks ekstraseluler, termasuk kadar air dan distribusi proteoglikan yang mengikat air di jaringan dermis. Cahaya LED merah yang menstimulasi

aktivitas fibroblas turut mendukung produksi komponen matriks ekstraseluler yang mempertahankan kandungan air jaringan, sehingga elastisitas kulit terjaga. Dengan demikian, pernyataan bahwa segala sesuatu yang hidup berasal dari air mencerminkan betapa mendasarnya peran hidrasi dalam keberlangsungan fungsi biologis kulit, termasuk elastisitasnya.

Selain itu, keseimbangan sistem biologis yang ditemukan dalam penelitian ini juga sejalan dengan firman Allah SWT dalam Q.S. Al-Mulk ayat 3:

الَّذِي خَلَقَ الْمَوْتَ وَالْحَيَاةَ لِيَبْلُوَكُمْ أَيُّكُمْ أَحْسَنُ عَمَلًا ۚ وَهُوَ الْعَزِيزُ الْغَفُورُ ﴿٣﴾

“Yang menciptakan tujuh langit berlapis-lapis. Tidak ada yang tidak seimbang pada ciptaan Tuhan Yang Maha Pengasih...” (Q.S. Al-Mulk: 3)

Ayat ini berbicara tentang keteraturan dan keseimbangan sempurna dalam ciptaan Allah SWT, Sebagaimana ditafsirkan oleh Imam As-Sa'di dalam Taisir Al-Karim Ar-Rahmandan M. Quraish Shihab dalam Tafsir Al-Mishbah, prinsip keseimbangan ini berlaku hingga tingkat molekuler dalam sel. Penelitian ini tercermin pada mekanisme keseimbangan antara reactive oxygen species (ROS) dan sistem antioksidan endogen dalam tubuh. Ketika LED merah menstimulasi mitokondria melalui proses photoexcitation, terbentuk ROS dalam kadar fisiologis yang segera diimbangi oleh sistem antioksidan endogen seperti superoksida dismutase (SOD), katalase, dan glutathione peroxidase. ROS pada kadar terkontrol ini justru berperan sebagai secondary messenger yang mengaktivasi jalur TGF- β dan

MAPK/ERK untuk mendukung regenerasi jaringan. Keseimbangan antara produksi ROS dan kapasitas peredamannya oleh antioksidan endogen inilah yang memungkinkan proses perbaikan kulit berlangsung tanpa menimbulkan kerusakan oksidatif.

Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak hanya menunjukkan hubungan ilmiah antara paparan cahaya LED dengan peningkatan ketebalan epidermis, elastisitas, dan presentase area kolagen, tetapi juga memperlihatkan adanya keselarasan antara ilmu pengetahuan dan nilai-nilai Al-Qur'an. Cahaya yang diciptakan oleh Allah SWT tidak hanya memiliki fungsi alami, tetapi juga dapat dikembangkan melalui teknologi untuk memberikan manfaat yang lebih luas bagi kehidupan manusia.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian tentang Pengaruh Lama Paparan LED Terhadap presentase area Kolagen, Ketebalan Epidermis, serta Elastisitas Pada Kulit Mencit (*Mus Musculus*), diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Paparan LED merah 660 nm berpengaruh signifikan ($p < 0,05$) terhadap peningkatan kadar kolagen kulit mencit (*Mus musculus*). presentase area kolagen meningkat dari 55,52% pada kelompok kontrol menjadi 90,02% pada paparan 20 menit per hari, dengan lonjakan paling tajam antara kelompok 10 dan 15 menit yang mengindikasikan adanya titik ambang aktivasi biologis. Peningkatan ini dimediasi oleh aktivasi jalur TGF- β yang mendorong fibroblas mensintesis kolagen tipe I dan III pada matriks ekstraseluler kulit.
2. Lama paparan LED merah 660 nm berpengaruh signifikan ($p < 0,05$) terhadap ketebalan epidermis kulit mencit. Ketebalan epidermis meningkat dari $55,4 \pm 3,53 \mu\text{m}$ pada kelompok kontrol menjadi $105,87 \pm 2,38 \mu\text{m}$ pada paparan 20 menit per hari, dengan perlambatan laju penebalan yang mulai terlihat pada kelompok 15 dan 20 menit. Penebalan ini merupakan hasil proliferasi dan diferensiasi keratinosit yang diinduksi melalui aktivasi jalur NF- κB dan MAPK/ERK akibat stimulasi fotobiomodulasi LED merah.
3. Lama paparan LED merah 660 nm berpengaruh signifikan ($p < 0,05$) terhadap elastisitas kulit mencit. Nilai elastisitas (rasio U_a/U_f)

meningkat dari $0,46 \pm 0,03$ pada kelompok kontrol menjadi $0,88 \pm 0,04$ pada paparan 20 menit per hari. Elastisitas menunjukkan respons yang lebih sensitif terhadap variasi durasi dibandingkan dua parameter lainnya, dengan plateau sementara pada kelompok 10–15 menit sebelum kembali meningkat signifikan pada 20 menit. Peningkatan ini merupakan hasil akhir kaskade fotobiomodulasi melalui aktivasi CCO, peningkatan ATP dan ROS fisiologis, serta induksi jalur TGF- β yang mendorong sintesis kolagen dan elastin oleh fibroblas.

4. Secara keseluruhan, durasi paparan 20 menit per hari selama 21 hari memberikan hasil tertinggi pada ketiga parameter yang diamati. Namun demikian, pola perlambatan yang mulai terlihat pada ketebalan epidermis dan elastisitas antara 15 dan 20 menit mengindikasikan adanya batas efektivitas biologis yang masih perlu dikaji lebih lanjut pada durasi paparan yang lebih panjang. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terapi LED merah 660 nm dengan intensitas ± 20 mW/cm² berpotensi menjadi metode non-invasif yang efektif dalam meningkatkan kualitas struktural kulit melalui mekanisme fotobiomodulasi mitokondria.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh, beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk memberikan intensitas cahaya yang dengan variasi yang berbeda agar mendapat hasil yang lebih maksimal.
2. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk memberikan variasi lama paparan yang berbeda agar dapat mengetahui durasi penyinaran yang paling efektif.

DAFTAR PUSTAKA

- Avci, P., Gupta, A., Sadasivam, M., Vecchio, D., Pam, Z., Pam, N., & Hamblin, M. R. (2013). *Low-level laser (light) therapy (LLLT) in skin: stimulating, healing, restoring*. *Seminars in Cutaneous Medicine and Surgery*, 32(1), 41-52.
- Bambang & Priyambodo. (2010). *Buletin Fisika Vol 17 No. 1*.
- Choi EH. *Aging of the skin barrier*. *Clin Dermatol*. 2019;37:336-45. 32.
- Erniyanti et al,. 2016. *Pengaruh Cahaya Terhadap Pertumbuhan Kacang Hijau*. Samarinda: Mitreka Satata.
- Festing, M. F. W. (2006). *Design and statistical methods in studies using animal models of development*. *ILAR Journal*, 47(1), 5-14.
- Fisher, G. J., Wang, Z. Q., Datta, S. C., Varani, J., Kang, S., & Voorhees, J. J. (2002). *Pathophysiology of premature skin aging induced by ultraviolet light*. *New England Journal of Medicine*, 337(20), 1419-1428.
- Giancoli, Douglas C., *Fisika Jilid 2*, diterjemahkan oleh Yuhilza Hanum dari *Physics Fifth Edition*, Jakarta: Penerbit Erlangga, 2001
- Hachmo Y, Hadanny A, Mendelovic S, Hillman P, Shapira E, Landau G, et al. The effect of hyperbaric oxygen therapy on the pathophysiology of skin aging: a prospective clinical trial. *Aging*. 2021;13:24500-10.
- Hamblin, M. R. (2017). Mechanisms of low level light therapy. *Photobiomodulation Review*.

- Hasanah, Rusny, & Masri. (2015). Struktur organ pencernaan mencit. *Jurnal Biologi*.
- Isnaini, dkk. (2015). Penggunaan LED pada bidang medis. *Jurnal Fisika*.
- Kurniaty, dkk. (2010). Teknologi LED dalam aplikasi cahaya. *Jurnal Teknologi*.
- Lee, S. Y., Park, K. H., Choi, J. W., Kwon, J. K., & Kim, H. S. (2007). *A prospective, randomized, placebo-controlled, double-blinded, and split-face trial on LED phototherapy for skin rejuvenation: clinical, profilometric, histologic, ultrastructural, and biochemical evaluations and comparison of three different treatment settings*. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 88(1), 51-67.
- Mithieux, S. M., & Weiss, A. S. *Elastin. In Advances in protein chemistry*. 2005. (Vol. 70, pp. 437-461). Academic Press.
- Mora Huertas AC, Schmelzer CE, Hoehenwarter W, Heyroth F, Heinz A. *Molecular-level insights into aging processes of skin elastin*. Biochimie. 2016;128-129:163- 73. 35.
- Muhaimin. 2001. *Teknologi Pencahayaan*. Bandung: Refika Aditama
- Nybakken, J.W. (1988). *Biologi Laut Suatu Pendekatan Ekologis*. Terjemahan M. Ediman, Koesoebiono, D.G Bengen, M. Hutomo, & S. Sukardjo. Jakarta: PT. Gramedia
- Pangestu, Aisyah, & Hardiana. (2023). Penggunaan mencit sebagai model hewan. *Jurnal Biologi Eksperimental*.

Rejeki, Putri, & Prasetya. (2018). Pemanfaatan mencit di laboratorium. *Jurnal Penelitian Sains*.

Rinnerthaler M, Bischof J, Streubel MK, Trost A, Richter K. *Oxidative stress in aging human skin. Biomolecules*. 2015;5:545-89.

Soedjo, Peter. 2004. *Fisika Dasar*. Yogyakarta: Andi Offset.

Tobin DJ. *Introduction to skin aging. J Tissue Viability*. 2017;26:37-46. 34.

Uito, et al. (2008). Collagen reduction in photoaged skin. *Dermatology Review*.

Veramika, dkk 2016. *Penentuan Nilai Sun Protection Factor (Spf) Sinar Matahari Dengan Menggunakan Kain Katun, Poliester Dan Rayon Di Pantai Kuta*. Buletin Fisika Vol 17 No. 1.

Wanto. 2008. *Rancangan Bangun Pengukur Intensitas Cahaya Tampak*

Wang Z, Man MQ, Li T, Elias PM, Mauro TM. *Aging-associated alterations in epidermal function and their clinical significance. Aging* 2020;12:5551-65. 33.

Weihermann, A. C., Lorencini, M., Brohem, C. A., & De Carvalho, C. M. *Elastin structure and its involvement in skin photoageing. International journal of cosmetic science*. 2017. 39(3), 241-247.

Weliyani, dkk. (2008). Hewan coba dalam penelitian laboratorium. *Jurnal Biologi*.

Zhang S, Duan E. (2018). *Fighting against skin aging: the way from bench to bedside. Cell Transplant*. 27:729-38.

LAMPIRAN

Lampiran 1

Hasil Penelitian

1. Hasil Pengukuran Presentase Area Kolagen (%)

Waktu pemaparan	Minggu Ke-	Presentase Area kolagen (%)					Rata-rata
		1	2	3	4	5	
kontrol	1	43,07	41,18	56,55	40,62	30,54	42,39
	2	65,17	72,46	54,81	63,21	52,27	61,59
	3	48,46	69,84	71,77	60,22	62,61	62,59
5 menit	1	39,06	67,69	72,88	88,71	52,68	64,21
	2	76,73	62,22	61,08	67,58	80	69,52
	3	83,84	65,74	55,75	72,90	86,17	72,88
10 menit	1	89,18	57,15	70	65,78	74,90	71,40
	2	63,14	67,48	87,97	75,76	78,44	74,56
	3	73,03	84,88	72,17	78,39	78,81	77,46
15 menit	1	66,44	99,70	71,44	67,05	94,97	79,92
	2	61,48	97,70	96,77	80,83	72,43	81,84
	3	99,96	95,07	76,61	70,91	78,75	84,26
20 menit	1	96,46	98,94	93,03	72,70	77,10	87,65
	2	94,95	91,51	96,08	97,76	71	90,26
	3	89,49	96,01	98,56	78,82	97,97	92,17

2. Hasil Pengukuran Ketebalan Epidermis (μm)

Waktu pemaparan	Minggu Ke-	Ketebalan Epidermis (μm)					Rata-rata
		1	2	3	4	5	
kontrol	1	42,03	35,17	54,71	55,90	70,46	51,65
	2	43,68	49,93	56,06	57,16	72,25	55,81
	3	43,32	55,03	58,10	57,10	79,90	58,69
5 menit	1	60,78	55,54	47,49	67,89	63,21	58,98
	2	60,74	78,91	79	69,26	45,89	66,76
	3	39,11	72,06	66,60	75,39	72,70	65,17
10 menit	1	87,20	89,51	83,20	65,45	96,56	84,38
	2	87,46	75,92	90,03	80,09	99,88	86,67
	3	60,07	88,84	92,45	97,02	107,86	89,25
15 menit	1	95,29	92,61	103,43	91,99	87,81	94,22
	2	85,43	93,49	114,10	92,28	118,88	100,83
	3	104,9	95,54	106,28	93,94	126,01	105,33
20 menit	1	83,40	95,83	119,88	108,2	110,3	103,52
	2	68,83	95,68	123,62	128,41	112,51	105,81
	3	93,43	99,92	93,03	137,97	117,03	108,27

3. Hasil Pengukuran Elastisitas (mm)

Waktu pemaparan	Minggu ke-	Uf (sebelum)			Ua (sesudah)			Ua/Uf			Rata-rata
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Kontrol	1	0,35	0,37	0,34	0,16	0,18	0,12	0,46	0,48	0,35	0,43
	2	0,39	0,43	0,45	0,19	0,24	0,16	0,49	0,55	0,35	0,46
	3	0,57	0,65	0,88	0,25	0,34	0,45	0,44	0,52	0,51	0,49
5 menit	1	0,45	0,62	0,65	0,26	0,33	0,42	0,57	0,53	0,64	0,58
	2	0,45	0,48	0,67	0,26	0,31	0,31	0,57	0,64	0,55	0,61
	3	0,64	0,68	0,64	0,36	0,4	0,49	0,56	0,58	0,76	0,64
10 menit	1	0,32	0,64	0,7	0,23	0,4	0,48	0,72	0,62	0,68	0,67
	2	0,54	0,5	0,82	0,32	0,38	0,65	0,59	0,76	0,79	0,71
	3	0,92	0,53	0,55	0,66	0,45	0,36	0,71	0,84	0,65	0,74
15 menit	1	0,68	0,79	0,8	0,48	0,56	0,67	0,70	0,71	0,83	0,75
	2	0,84	0,87	0,92	0,68	0,75	0,61	0,81	0,86	0,66	0,78
	3	0,95	0,97	0,9	0,78	0,67	0,85	0,82	0,69	0,94	0,81
20 menit	1	0,89	0,82	0,81	0,69	0,7	0,72	0,77	0,85	0,88	0,84
	2	0,54	0,57	0,79	0,45	0,48	0,75	0,83	0,84	0,94	0,87
	3	0,78	0,8	0,85	0,72	0,75	0,79	0,92	0,93	0,92	0,93

Lampiran 2**Hasil normalitas**

1. Hasil normalitas area kolagen

Tests of Normality

	kelompok	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
kolagen	1	.370	3	.	.787	3	.084
	2	.226	3	.	.983	3	.752
	3	.178	3	.	.999	3	.953
	4	.197	3	.	.996	3	.874
	5	.208	3	.	.992	3	.829

a. Lilliefors Significance Correction

2. Hasil Normalitas Ketebalan Epidermis

Tests of Normality

	kelompok	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
epidermis	0	.215	3	.	.989	3	.799
	5	.312	3	.	.895	3	.371
	10	.182	3	.	.999	3	.937
	15	.217	3	.	.988	3	.791
	20	.178	3	.	.999	3	.955

a. Lilliefors Significance Correction

3. Hasil Normalitas Elastisitas

Tests of Normality							
	kelompo k	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
elastisitas	0	.218	3	.	.988	3	.786
	5	.176	3	.	1.000	3	.988
	10	.222	3	.	.986	3	.770
	15	.220	3	.	.986	3	.776
	20	.223	3	.	.985	3	.766

a. Lilliefors Significance Correction

Lampiran 3

Hasil Uji One Way Anova

1. Uji One Way Anova Area Kolagen Kolagen

ANOVA

kolagen

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2066.484	4	516.621	15.402	.000
Within Groups	335.422	10	33.542		
Total	2401.906	14			

2. Uji One Way Anova Ketebalan Epidermis

ANOVA

epidermis

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	5898.479	4	1474.620	102.069	.000
Within Groups	144.473	10	14.447		
Total	6042.952	14			

3. Uji One Way Anova Elastisitas

ANOVA

elastisitas

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.310	4	.077	65.485	.000
Within Groups	.012	10	.001		
Total	.321	14			

*Lampiran 4***Hasil Uji Duncan DMRT**

1. Hasil Uji Duncan DMRT presentase area Kolagen

kolagenDuncan^a

kelompok	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
1	3	55.5242			
2	3		68.8734		
3	3		74.4755	74.4755	
4	3			82.0109	82.0109
5	3				90.0299
Sig.		1.000	.264	.142	.121

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

2. Hasil Uji Duncan DMRT Ketebalan Epidermis

epidermisDuncan^a

kelompok	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
0	3	55.3907			
5	3		63.6425		
10	3			86.7725	
15	3				100.1346
20	3				105.8774
Sig.		1.000	1.000	1.000	.094

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

3. Hasil Uji Duncan DMRT Elastisitas

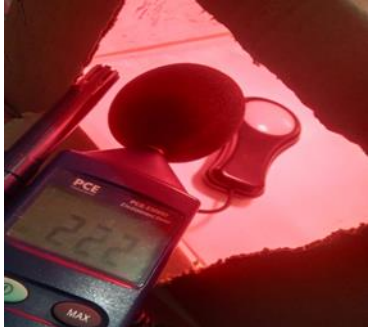
elastisitasDuncan^a

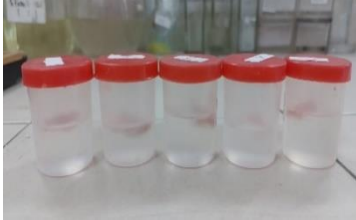
kelompok	N	Subset for alpha = 0.05				
		1	2	3	4	5
0	3	.4631				
5	3		.6120			
10	3			.7106		
15	3				.7824	
20	3					.8814
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Lampiran 5

No	Gambar Penelitian	Keterangan
1.		Proses aklimatisasi mencit dilakukan pada suhu ruang yang stabil, disertai pemberian pakan dan air minum secara teratur, serta penggantian sekam kandang setiap 3 hari sekali dan pengelompokan mencit.
2.		Proses Pencukuran bulu mencit di area punggung menggunakan <i>Digital Clipper</i>.
3.		Menyiapkan kotak penyinaran yang dilapisi alumunium foil serta mensetting jarak dari LED ke objek.
4.		Penyinaran LED Merah pada mencit sesuai dengan kelompok perlakuan, Yaitu kontrol, 5,10,15, dan 20 menit.

5.		Proses fiksasi mencit menggunakan perekat (lilin) pada bagian ekor untuk menjaga posisi tubuh tetap stabil selama perlakuan.
6.		Setelah proses fiksasi, mencit dilakukan eutanasia, kemudian dilakukan pengambilan jaringan kulit pada area perlakuan
7.		Jaringan kulit yang sudah diambil, dimasukkan ke dalam botol yang sudah diberi formalin.
8.		Jaringan dimasukkan ke dalam parafin cair hingga membentuk blok parafin.
9.		Blok parafin dipotong dengan mikrotom hingga diperoleh irisan tipis jaringan yang siap untuk tahap preparasi selanjutnya.
10.		Irisan jaringan diapungkan pada air hangat untuk meratakan sebelum ditempelkan pada kaca objek.

11.		Irisan jaringan yang telah ditempelkan pada kaca objek dikeringkan menggunakan hot plate untuk meningkatkan daya lekat preparat sebelum pewarnaan.
12.		Preparat direndam dalam larutan pewarna Hematoxylin dan Eosin secara bertahap untuk menampakkan struktur jaringan secara jelas.
13.		Kumpulan preparat kaca objek berisi jaringan kulit mencit yang telah diwarnai dengan metode Hematoxylin-Eosin (HE) dan Masson Trichome untuk pengamatan mikroskopis.
14.		(<i>Mounting</i>) Preparat ditetesi perekat lalu ditutup dengan kaca penutup (<i>cover glass</i>) untuk pengamatan mikroskopis.
15.		Preparat histologi diamati menggunakan mikroskop untuk melihat struktur jaringan kulit mencit.



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
Jalan Gajeyana Nomor 50, Telepon (0341) 551354, Fax (0341) 572533
Website: <http://www.uin-malang.ac.id> Email: info@uin-malang.ac.id

JURNAL BIMBINGAN SKRIPSI/TESIS/DISERTASI

IDENTITAS MAHASISWA

NIM : 220604110052
Nama : SYAFIRA AULIA FILOSOFIA
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
Jurusan : FISIKA
Dosen Pembimbing 1 : Dr. H. Agus Mulyono, S.Pd., M.Kes.
Dosen Pembimbing 2 : UTIYA HIKMAH, S.Si., M.Si.
Judul Skripsi/Tesis/Disertasi : PENGARUH LAMA PAPARAN LED MERAH 660 NM TERHADAP KADAR KOLAGEN, KETEBALAN EPIDERMIS, SERTA ELASTISITAS PADA MENCIT (MUS MUSCULUS)

IDENTITAS BIMBINGAN

No	Tanggal Bimbingan	Nama Pembimbing	Deskripsi Proses Bimbingan	Tahun Akademik	Status
1	02 Oktober 2025	Dr. H. Agus Mulyono, S.Pd., M.Kes	Bimbingan Judul Skripsi	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
2	30 Oktober 2025	Dr. H. Agus Mulyono, S.Pd., M.Kes	Bimbingan proposal skripsi serta Judul skripsi	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
3	02 November 2025	Dr. H. Agus Mulyono, S.Pd., M.Kes	Bimbingan Persetujuan Pengajuan Judul	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
4	26 November 2025	Dr. H. Agus Mulyono, S.Pd., M.Kes	Bimbingan Proposal Skripsi	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
5	01 Desember 2025	Dr. H. Agus Mulyono, S.Pd., M.Kes	Bimbingan Proses pendaftaran Seminar Proposal	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
6	13 Februari 2026	Dr. H. Agus Mulyono, S.Pd., M.Kes	Bimbingan mengenal penelitian skripsi	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
7	20 Februari 2026	Dr. H. Agus Mulyono, S.Pd., M.Kes	Bimbingan penelitian skripsi	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
8	02 April 2026	Dr. H. Agus Mulyono, S.Pd., M.Kes	Konsultasi penelitian serta pendaftaran kompre	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
9	16 April 2026	Dr. H. Agus Mulyono, S.Pd., M.Kes	Konsultasi Data penelitian	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
10	23 April 2026	Dr. H. Agus Mulyono, S.Pd., M.Kes	Bimbingan data penelitian	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
11	13 Mei 2026	UTIYA HIKMAH, S.Si., M.Si	Bimbingan Perbaikan ayat al-quran integrasi	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
12	20 Mei 2026	Dr. H. Agus Mulyono, S.Pd., M.Kes	Bimbingan Skripsi	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
13	26 Mei 2026	UTIYA HIKMAH, S.Si., M.Si	Bimbingan Tafsir serta Tanda Tangan	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
14	26 Mei 2026	Dr. H. Agus Mulyono, S.Pd., M.Kes	Bimbingan Hasil dan pembahasan serta tanda tangan	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi

Telah disetujui
Untuk mengajukan ujian Skripsi/Tesis/Desertasi

Dosen Pembimbing 2

UTIYA HIKMAH, S.Si., M.Si

Malang, 3 Juni 2026

Dosen Pembimbing 1

Dr. H. Agus Mulyono, S.Pd., M.Kes

Kajur / Kaprodi,

Farid Samso Hananto, M.T.