



**PENGEMBANGAN PERANGKAT PEMBELAJARAN RBL-STEM  
UNTUK MENINGKATKAN *METALITERACY* MAHASISWA  
MENYELESAIKAN MASALAH *WATERMARKING IMAGE*  
MENGUNAKAN *RAINBOW ANTIMAGIC COLORING***

*diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Magister pada  
Program Studi Magister Pendidikan Matematika*

**TESIS**

Oleh

**Indi Izzah Makhfudloh**

**NIM 230220101008**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS JEMBER  
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN  
PROGRAM STUDI MAGISTER PENDIDIKAN MATEMATIKA  
JEMBER  
2025**



**PENGEMBANGAN PERANGKAT PEMBELAJARAN RBL-STEM  
UNTUK MENINGKATKAN *METALITERACY* MAHASISWA  
MENYELESAIKAN MASALAH *WATERMARKING IMAGE*  
MENGUNAKAN *RAINBOW ANTIMAGIC COLORING***

*Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Magister  
pada Program Studi Magister Pendidikan Matematika*

**TESIS**

Oleh

**Indi Izzah Makhfudloh**

**NIM 230220101008**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS JEMBER  
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN  
PROGRAM STUDI MAGISTER PENDIDIKAN MATEMATIKA  
JEMBER  
2025**

## PERSEMBAHAN

Alhamdulillah puji syukur kehadiran Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* atas segala limpahan rahmat, kasih sayang, dan karunia-Nya. Sholawat serta salam turunkan kepada Nabi Muhammad *Shallallahu 'Alahi Wasallam*. Karya tesis ini, saya persembahkan sebagai rasa hormat, kasih sayang, serta ucapan terima kasih dari lubuk hati kepada orang-orang yang sangat berarti dan berkesan.

1. Kedua orang tua saya tercinta, Abah Anshori dan Ibu Umi. Terima kasih atas segala doa dan dukungan yang telah diberikan. Abah dan Ibu telah menjadi matahari yang menghangatkan dan bulan yang menerangi di setiap malam yang gelap. Keteguhan hati, nasihat bijaksana, serta dukungan penuh kasih yang terus mengiringi, telah menjadi motivasi terbesar yang membuat semangat sampai hari ini.
2. Kakak-kakak dan ponakan tercinta yang sudah memberi dukungan serta doa.
3. Lek kholis dan Lek Siti, terima kasih atas dukungan, doa dan bantuan biaya dalam pendidikan ini.
4. Bapak Prof. Drs. Dafik, M.Sc., Ph.D. dan Ibu Dr. Arika Indah Kristiana, S.Si., M.Pd. sebagai Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dan arahan selama proses penulisan tesis ini. Saya mengucapkan terima kasih atas upaya dan kontribusi yang sangat berharga.
5. Bapak Dr. Susanto, M.Pd. dan Bapak Dr. Ridho Alfarisi, S.Pd., M.Si. sebagai Dosen Penguji, terima kasih telah memberikan kritik dan saran yang berharga untuk perbaikan dan penyempurnaan tesis ini.
6. Teman-teman kelompok riset PUI-PT Combinatorics and Graph CGANT terutama Mbak Excel, Mbak Indah dan Mas Rifki yang selalu mendorong dan membantu. Saya berterima kasih atas dukungan dan kerja samanya.
7. Kepada pasangan saya, terima kasih telah memberi semangat dan dukungan penuh.
8. Kepada Ainun, Yola dan Hanun, terima kasih telah membantu, mendukung dan kebersamai saya.

## **MOTTO**

“Never give up”

(Indi Izzah Makhfudloh)

“Barang siapa yang menyulitkan (orang lain) maka Allah akan mempersulitnya  
pada hari kiamat”

(HR Al-Bukhari)

"Jangan terlalu ambil hati dengan ucapan seseorang, kadang manusia punya mulut  
tapi belum tentu punya pikiran"

(Albert Einstein)

"Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan"

(QS. Al-Insyirah: 5)

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Indi Izzah Makhfudloh

NIM : 230220101008

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tesis yang berjudul: *Pengembangan Perangkat Pembelajaran RBL-STEM untuk Meningkatkan Metaliteracy Mahasiswa Menyelesaikan Masalah Watermarking Image Menggunakan Rainbow Antimagic Coloring* adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan tesis ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun, serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 6 Januari 2025

Yang menyatakan,

Indi Izzah Makhfudloh

NIM 230220101008

## **PUBLIKASI DARI TESIS**

1. I I Makhfudloh, Dafik, A I Kristiana. 2024. *The Development of RBL-STEM Learning Materials to Improve Students' Metaliteracy in Solving Watermarking Image Problems Using Rainbow Antimagic Coloring*. World Journal of Advanced and Riviews, Submitted.
2. I I Makhfudloh, Dafik, Slamin, I H Agustin, R I Baihaki, I L Mursyidah. 2024. *A Novel Image Watermarking Strategy using Rainbow Antimagic Coloring and Least Significant Bit*. AIP Conference Proceedings, Accepted.

## HALAMAN PERSETUJUAN

Tesis berjudul *Pengembangan Pengembangan Perangkat Pembelajaran RBL-STEM untuk Meningkatkan Metaliteracy Mahasiswa Menyelesaikan Masalah Watermarking Image Menggunakan Rainbow Antimagic Coloring* telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember pada:

Hari : Senin

Tanggal : 6 Januari 2025

Tempat : Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember

Pembimbing

Tanda Tangan

1. Pembimbing Utama

Nama : Prof. Drs. Dafik, M.Sc., Ph.D.

NIP : 19680802 199303 1 004

(.....)

2. Pembimbing Utama

Nama : Dr. Arika Indah Kristiana, S.Si., M.Pd.

NIP : 19760502 200604 2 001

(.....)

Penguji

3. Penguji Utama

Nama : Dr. Susanto, M.Pd.

NIP : 19630616 198802 1 001

(.....)

4. Penguji Utama

Nama : Dr. Ridho Alfarisi, S.Pd., M.Si.

NIP : 19941107 202406 1 004

(.....)

## ABSTRACT

*The rapid development of information in this era emphasizes the importance of improving students' metaliteracy skills. One of the models and approaches that can be applied is Research Based Learning (RBL) integrated with Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM). The purpose of this study is to identify RBL-STEM activities, explain the steps and results of creating RBL-STEM learning materials, and examine data on the results of creating learning resources to increase students' metaliteracy level. Research and development (R&D) was the methodology used. The products of this research are the results of the development of learning tools in the form of students' assignment designs, students' worksheets, and learning outcome tests. The learning tool development process yielded data that met a validity requirement of 95.5%. The trial involved 40 students', and the use of the RBL-STEM learning resources was found to be effective with a 96.77% effectiveness criterion and practical with a 97.71% practicality criterion. In addition, students' responded positively to the learning experience and were highly engaged. Students' metaliteracy increased as they solved rainbow antimagic coloring problems, according to the pretest and posttest study. This study also identified three levels of metaliteracy proficiency: high, medium, and low. The research findings were validated using statistical analysis, phase image, NVivo, and word cloud, which also demonstrated an improvement in students' metaliteracy skills. Thus, RBL-STEM has the potential to improve students' metaliteracy in real-world contexts, such as the application of watermarking image.*

*Keyword: metaliteracy, research based learning, stem, rainbow antimagic coloring, watermarking image*

## RINGKASAN

**Pengembangan Perangkat Pembelajaran RBL-STEM untuk Meningkatkan Metaliteracy Mahasiswa Menyelesaikan Masalah Watermarking Image Menggunakan Rainbow Antimagic Coloring:** Indi Izzah Makhfudloh; 230220101008; 2025; 80 halaman; Program Studi Magister Pendidikan Matematika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jember.

Pembelajaran berbasis riset (RBL-STEM) telah menjadi prioritas dalam pengembangan kurikulum pendidikan tinggi. Pendekatan ini memadukan elemen sains, teknologi, teknik, dan matematika dengan aplikasi praktis di dunia nyata. Fokus utamanya adalah memperkuat *metaliteracy* mahasiswa untuk menghadapi tantangan dan pemecahan masalah yang kompleks. Penelitian sebelumnya menunjukkan pentingnya meningkatkan *metaliteracy* mahasiswa, khususnya dalam menyelesaikan masalah yang membutuhkan pemahaman aplikasi nyata. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan merancang perangkat pembelajaran RBL-STEM untuk meningkatkan kemampuan *metaliteracy* mahasiswa dalam menyelesaikan persoalan *rainbow antimagic coloring*.

Model pembelajaran ini melibatkan mahasiswa secara aktif dalam proses penelitian terkait masalah *rainbow antimagic coloring* dan penerapannya pada *watermarking image*. Pendekatan berbasis permasalahan nyata ini diharapkan mampu meningkatkan keterampilan *metaliteracy* mahasiswa serta memperkuat pemahaman di berbagai bidang. Penelitian ini menggunakan metode penelitian dan pengembangan (*research and development*) dengan model pengembangan 4D (*define, design, develop, dan disseminate*). Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan perangkat pembelajaran RBL-STEM yang menghasilkan produk berupa Rancangan Tugas Mahasiswa (RTM), Lembar Kerja Mahasiswa (LKM), dan Tes Hasil Belajar (THB).

Kerangka aktivitas RBL-STEM dalam penelitian ini mencakup beberapa langkah, yang meliputi: 1) tahap pertama yang harus dilakukan mahasiswa adalah memahami riset terdahulu yang berkaitan dengan *watermarking image*

menggunakan *rainbow antimagic coloring*, 2) memperoleh inovasi dalam pengaplikasian *watermarking image* berdasarkan *rainbow antimagic coloring*, 3) mengkontruksi fungsi bobot *rainbow antimagic coloring*, 4) menganalisis data terkait *watermarking image* serta penggunaan perangkat lunak dalam pengolahannya, 5) generalisasi data dengan menerapkan pada permasalahan lain yang serupa, 6) memberikan kesimpulan dari hasil kegiatan dengan mempresentasikan hasil yang didapatkan terkait penyelesaian permasalahan *watermarking image* menggunakan bobot sisi dari konsep *rainbow antimagic coloring*.

Hasil analisis data dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu analisis kuantitatif dan analisis kualitatif. Analisis kuantitatif melibatkan pengolahan data *pretest* dan *posttest*, dimana dilakukan uji normalitas dan uji t sampel berpasangan (*paired sample t-test*). Berdasarkan uji normalitas, dapat disimpulkan bahwa nilai *pretest* dan *posttest* memiliki distribusi yang normal, karena nilai signifikansi (*Sig.*)  $> 0,05$ . Selanjutnya hasil *paired sample t-test* menunjukkan nilai *Sig.*(2-tailed) sama dengan  $0,000 < 0,05$ . Berdasarkan nilai tersebut, maka terdapat perbedaan nilai sebelum dan sesudah dilakukan pembelajaran menggunakan perangkat RBL-STEM terhadap *metaliteracy* mahasiswa. Dalam analisis kualitatif, digunakan metode triangulasi data yaitu potret fase, N-Vivo, dan *word cloud*. Potret fase memberikan informasi bahwa subjek MT memenuhi 17 sub indikator, subjek MS memenuhi 11 sub indikator, dan subjek MR memenuhi 6 sub indikator. Dalam N-Vivo, data dikelompokkan menggunakan fitur diagram perbandingan dan peta proyek. Sementara itu, *word cloud* menampilkan kode soal dan jenis jawaban yang paling banyak disebut oleh mahasiswa sebagai bentuk pemahaman dalam proses pembelajaran dan *metaliteracy* terkait materi yang diajarkan.

## PRAKATA

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* atas segala rahmat dan karuni-Nya, penulis berhasil menyelesaikan tesis dengan judul “Pengembangan Perangkat Pembelajaran RBL-STEM untuk Meningkatkan *Metaliteracy* Mahasiswa Menyelesaikan Masalah *Watermarking Image* Menggunakan *Rainbow Antimagic Coloring*”. Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata dua (S2) pada Program Studi Magister Pendidikan Matematika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jember. Penyusunan tesis ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Rektor Universitas Jember;
2. Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
3. Ketua Jurusan Pendidikan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
4. Koordinator Program Studi Magister Pendidikan Matematika Universitas Jember;
5. Dosen Pembimbing yang dengan sabar telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan tesis ini;
6. Dosen Penguji yang telah memberika masukan demi kesempurnaan tesis ini;
7. Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing dan memberikan ilmu;
8. Dosen dan Karyawan Program Studi Magister Pendidikan Matematika Universitas Jember;
9. Validator yang telah memberikan bantuan kepada penulis dalam proses validasi instrumen penelitian;
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan tesis ini. Penulis juga berharap, semoga tesis ini dapat bermanfaat.

Jember, 6 Januari 2025

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>PERSEMBAHAN</b> .....	ii
<b>MOTTO</b> .....	iii
<b>PERNYATAAN ORISINALITAS</b> .....	iv
<b>PUBLIKASI DARI TESIS</b> .....	v
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	vi
<b>ABSTRACT</b> .....	vii
<b>RINGKASAN</b> .....	viii
<b>PRAKATA</b> .....	x
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xvi
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	3
<b>1.3 Tujuan Penelitian</b> .....	4
<b>1.4 Manfaat Penelitian</b> .....	4
<b>1.5 Spesifikasi Perangkat</b> .....	4
<b>1.6 Kebaharuan Penelitian</b> .....	5
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	6
<b>2.1 <i>Research-Based Learning (RBL)</i></b> .....	6
<b>2.2 <i>Science, Technology, Engineering, Mathematics (STEM)</i></b> .....	7
<b>2.3 <i>Metaliteracy</i></b> .....	8

2.4	<i>Rainbow Antimagic Coloring (RAC)</i> .....	10
2.5	<i>Watermarking Image</i> .....	11
2.6	<i>Least Significant Bit (LSB)</i> .....	12
2.7	<i>Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)</i> .....	12
2.8	<i>Structural Similarity Index Measure (SSIM)</i> .....	13
2.9	<b>Problematika STEM</b> .....	14
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN</b> .....		16
3.1	<b>Jenis Penelitian</b> .....	16
3.2	<b>Subjek, Waktu, dan Tempat Penelitian</b> .....	16
3.3	<b>Definisi Operasional</b> .....	16
3.4	<b>Prosedur Penelitian</b> .....	17
3.5	<b>Teknik Pengumpulan Data</b> .....	20
3.6	<b>Teknik Analisis Data</b> .....	20
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....		24
4.1	<b>Kerangka Aktivitas RBL-STEM</b> .....	24
4.2	<b>Proses dan Hasil Pengembangan Perangkat RBL-STEM</b> .....	38
4.3	<b>Analisis Peningkatan Metaliteracy Mahasiswa</b> .....	47
4.4	<b>Pembahasan</b> .....	55
<b>BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....		58
5.1	<b>Kesimpulan</b> .....	58
5.2	<b>Saran</b> .....	59
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....		60

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Sintaks Pembelajaran Model <i>Research-Based Learning</i> (RBL).....	7
Gambar 2. 2 Tahapan RBL-STEM .....	8
Gambar 2. 3 <i>Rainbow antimagic coloring</i> graf tangga $n = 9$ , $RAC = 9$ .....	11
Gambar 2. 4 Mekanisme penyematan <i>watermark</i> .....	12
Gambar 2. 5 Unsur-unsur STEM .....	15
Gambar 3. 1 Tahapan Pengembangan Perangkat Pembelajaran Model 4-D .....	20
Gambar 3. 2 Skema Teknik Analisis Data .....	21
Gambar 4. 1 Unsur-unsur STEM pada Skema <i>Watermarking Image</i> .....	24
Gambar 4. 2 Kerangka Aktivitas RBL-STEM pada permasalahan RAC .....	25
Gambar 4. 3 Graf di MATLAB dan Matriks <i>adjacency</i> .....	27
Gambar 4. 4 Gambar Uji Indi .....	27
Gambar 4. 5 Framework Image Authentication.....	28
Gambar 4. 6 Menu <i>home</i> di GUI <i>watermarking image</i> .....	29
Gambar 4. 7 Hasil proses <i>encoding</i> di MATLAB .....	29
Gambar 4. 8 <i>Framework ekstrak watermark</i> .....	30
Gambar 4. 9 Hasil proses <i>decoding</i> di MATLAB .....	30
Gambar 4. 10 <i>Histogram Original Image</i> dan <i>Watermarking Image</i> .....	31
Gambar 4. 11 Prototype <i>watermarking image</i> .....	32
Gambar 4. 12 RAC graf <i>AmalKt4, x, 3</i> .....	35
Gambar 4. 13 Peta Konsep Topik <i>Rainbow Antimagic Coloring</i> .....	40
Gambar 4. 14 Desain Awal RPS, RTM, LKM, THB .....	42
Gambar 4. 15 Grafik sebaran nilai pretest dan posttest .....	47
Gambar 4. 16 Persentase level metaliteracy mahasiswa.....	47
Gambar 4. 17 Kartu Potret Fase Metaliteracy Mahasiswa.....	50
Gambar 4. 18 Diagram Potret Fase MT dan Matriks Adjacency .....	50
Gambar 4. 19 Diagram Potret Fase MS dan Matriks Adjacency.....	51
Gambar 4. 20 Diagram Potret Fase MR dan Matriks Adjacency .....	52

Gambar 4. 21 (a) Perbandingan MR dan MS, (b) Perbandingan MS dan MT, (c) Perbandingan MR dan MT.....	53
Gambar 4. 22 Peta Proyek dengan Analisis N-Vivo.....	54
Gambar 4. 23 Visualisasi Word cloud .....	54
Gambar 4. 24 Pohon kata dari kata “Gambar” .....	55

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Indikator metaliteracy .....	9
Tabel 2. 2 Pengembangan indikator metaliteracy dalam penelitian .....	9
Tabel 3. 1 Aspek yang dinilai dalam penelitian .....	20
Tabel 4. 1 Rainbow Path pada graf $AmalKtn, x, m$ .....	34
Tabel 4. 2 Aktifitas Pembelajaran RBL-STEM Tahap Pertama .....	35
Tabel 4. 3 Aktifitas Pembelajaran RBL-STEM Tahap Kedua.....	36
Tabel 4. 4 Aktifitas Pembelajaran RBL-STEM Tahap Ketiga .....	36
Tabel 4. 5 Aktifitas Pembelajaran RBL-STEM Tahap Keempat.....	37
Tabel 4. 6 Aktifitas Pembelajaran RBL-STEM Tahap Kelima .....	37
Tabel 4. 7 Aktifitas Pembelajaran RBL-STEM Tahap Keenam.....	38
Tabel 4. 8 Rekapitulasi Validasi Perangkat RBL-STEM .....	43
Tabel 4. 9 Rekap Data Hasil Angket Respon Mahasiswa.....	45
Tabel 4. 10 Rekapitulasi Hasil Observasi Aktivitas Mahasiswa .....	46
Tabel 4. 11 Hasil Uji Normalitas .....	48
Tabel 4. 12 Statistik pada Sampel Berpasangan .....	48
Tabel 4. 13 Korelasi pada Sampel Berpasangan.....	48
Tabel 4. 14 Hasil Paired Sample T Test.....	49

## **DAFTAR LAMPIRAN**

- Lampiran 1. Matrik Penelitian
- Lampiran 2. Perangkat Pembelajaran
- Lampiran 3. Lembar Validasi dan Rubrik Rancangan Tugas Mahasiswa (RTM)
- Lampiran 4. Lembar Validasi dan Rubrik Lembar Kerja Mahasiswa (LKM)
- Lampiran 5. Lembar Validasi dan Rubrik Tes Hasil Belajar (THB)
- Lampiran 6. Lembar Observasi Aktivitas Mahasiswa
- Lampiran 7. Lembar Validasi dan Rubrik Observasi Aktivitas Mahasiswa
- Lampiran 8. Lembar Observasi Keterlaksanaan
- Lampiran 9. Lembar Validasi dan Rubrik Observasi Keterlaksanaan
- Lampiran 10. Lembar Angket Respon Mahasiswa
- Lampiran 11. Lembar Validasi dan Rubrik Angket Respon Mahasiswa
- Lampiran 12. Hasil Validasi Rancangan Tugas Mahasiswa (Validator 1)
- Lampiran 13. Hasil Validasi Rancangan Tugas Mahasiswa (Validator 2)
- Lampiran 14. Rekapitulasi Hasil Validasi Rancangan Tugas Mahasiswa
- Lampiran 15. Hasil Validasi Lembar Kerja Mahasiswa (Validator 1)
- Lampiran 16. Hasil Validasi Lembar Kerja Mahasiswa (Validator 2)
- Lampiran 17. Rekapitulasi Hasil Validasi Lembar Kerja Mahasiswa
- Lampiran 18. Hasil Validasi Tes Hasil Belajar (Validator 1)
- Lampiran 19. Hasil Validasi Tes Hasil Belajar (Validator 2)
- Lampiran 20. Rekapitulasi Hasil Validasi Tes Hasil Belajar
- Lampiran 21. Hasil Validasi Observasi Aktivitas Mahasiswa (Validator 1)
- Lampiran 22. Hasil Validasi Observasi Aktivitas Mahasiswa (Validator 2)
- Lampiran 23. Rekapitulasi Hasil Validasi Observasi Aktivitas Mahasiswa
- Lampiran 24. Hasil Validasi Observasi Keterlaksanaan (Validator 1)
- Lampiran 25. Hasil Validasi Observasi Keterlaksanaan (Validator 2)
- Lampiran 26. Rekapitulasi Hasil Validasi Observasi Keterlaksanaan
- Lampiran 27. Hasil Validasi Angket Respon Mahasiswa (Validator 1)
- Lampiran 28. Hasil Validasi Angket Respon Mahasiswa (Validator 2)

- Lampiran 29. Rekapitulasi Hasil Validasi Angket Respon Mahasiswa
- Lampiran 30. Hasil Wawancara Mahasiswa Subjek MT
- Lampiran 31. Hasil Wawancara Mahasiswa Subjek MS
- Lampiran 32. Hasil Wawancara Mahasiswa Subjek MR
- Lampiran 33. Distribusi nilai TD, MD, RA, RRA
- Lampiran 34. Simbol Sub Indikator *Metaliteracy* dalam Potret Fase
- Lampiran 35. Nilai Hasil *Pretest* dan *Posttest*
- Lampiran 36. Dokumentasi Penelitian
- Lampiran 37. Dokumentasi Wawancara
- Lampiran 38. Dokumentasi Potret Fase
- Lampiran 39. Kriteria dalam Penelitian
- Lampiran 40. Teorema RC Graf *Amal*( $Kt_n, x, m$ )
- Lampiran 41. Artikel ICCGANT
- Lampiran 42. LoA ICCGANT
- Lampiran 43. Artikel WJARR
- Lampiran 44. LoA WJARR
- Lampiran 45. Biografi Penulis



<https://unej.id/LampiranIndiIzzahMakhfudloh>

## **BAB 1. PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pendidikan merupakan salah satu kunci dalam mengembangkan kehidupan bangsa (Sanga & Wangdra, 2023). Pengembangan kehidupan bangsa dapat dilakukan dengan adanya modifikasi dan percepatan dalam pengembangan pendidikan. Pendidikan merupakan fondasi utama untuk mempersiapkan individu dalam menghadapi tantangan era digital yang kini berada di era 4.0 (Musanna, 2017). Era ini ditandai dengan perkembangan teknologi informasi dan komunikasi yang pesat. Hal tersebut menghadirkan beragam permasalahan baru yang perlu dipecahkan terutama dalam perlindungan terhadap keamanan dan integritas data. Konteks pendidikan di era 4.0 menuntut adanya transformasi dalam model dan pendekatan pembelajaran untuk meningkatkan kesiapan mahasiswa dalam menghadapi tantangan teknologi di era digital yang semakin kompleks (Pertiwi dkk., 2024). Salah satu model dan pendekatan yang dapat digunakan yaitu model *Research Based Learning* (RBL) dengan pendekatan *Science, Technology, Engineering, and Mathematics* (STEM).

*Research Based Learning* (RBL) merupakan model pembelajaran berbasis penelitian yang melibatkan berbagai aktivitas seperti Analisis, sintesis, dan evaluasi, serta membantu meningkatkan pemahaman dan penerapan pengetahuan (Kristiana dkk., 2022). *Research Based Learning* (RBL) memerlukan masalah yang kontekstual dan realistis serta mencakup setidaknya empat studi ilmiah, yaitu sains, teknologi, teknik, dan matematika (Suntusia dkk., 2019). Pendekatan *Science, Technology, Engineering, and Mathematics* (STEM) merupakan pendekatan dimana sains, teknologi, teknik, dan matematika terintegrasi dengan proses yang berfokus pada pemecahan masalah dalam kehidupan sehari-hari (Gita dkk., 2021). Pendekatan STEM memungkinkan mahasiswa untuk mengintegrasikan pengetahuan lintas disiplin ilmu dan mengembangkan keterampilan yang relevan dengan kebutuhan industri dan masyarakat pada era digital. Semakin pesatnya perkembangan informasi di era digital maka semakin diperlukannya peningkatan keterampilan *metaliteracy* mahasiswa.

Keterampilan *metaliteracy* merupakan kemampuan untuk mengelola, mengevaluasi, dan menggunakan informasi secara kritis yang menjadi salah satu aspek penting pendidikan era 4.0 (Sufirman dkk., 2022). Keterampilan *metaliteracy* ini merupakan kemampuan mahasiswa dalam mengakses, memahami, mengevaluasi, dan mengelola informasi secara kritis dalam konteks pembelajaran digital dan teknologi (Kurniawati dkk., 2022). Pengembangan keterampilan *metaliteracy* mahasiswa dalam mengelola informasi dan teknologi dapat dilakukan menggunakan perangkat pembelajaran dengan model RBL-STEM (Kristiana dkk., 2022). Pengembangan *metaliteracy* ini dapat didukung dengan penyelesaian *watermarking image* menggunakan *rainbow antimagic coloring*.

*Watermarking image* merupakan teknik penyisipan informasi ke dalam gambar digital yang bertujuan untuk melindungi hak cipta, menjaga keaslian, atau menambahkan data tambahan tanpa mengubah penampilan gambar secara signifikan (Faheem dkk., 2023). Teknik ini sering digunakan untuk memastikan bahwa sumber atau kepemilikan gambar dapat diidentifikasi, bahkan setelah gambar tersebut mengalami pemrosesan atau modifikasi (Aminuddin & Ernawan, 2023). Salah satu aspek yang memerlukan perhatian khusus di era digital ini adalah keamanan gambar digital dimana teknik *watermarking image* menjadi solusi untuk menyisipkan informasi rahasia ke dalam gambar tanpa mengubah penampilannya secara signifikan (Santoso dkk., 2022). Penelitian ini mengembangkan perangkat pembelajaran yang menggabungkan konsep *watermarking image* dengan teknik *rainbow antimagic coloring*, sehingga mahasiswa akan memahami dasar-dasar pewarnaan dan menerapkannya pada masalah *watermarking image*.

*Rainbow Antimagic Coloring* adalah pewarnaan sisi graf dengan label unik sehingga jumlah label pada sisi-sisi yang terhubung ke setiap simpul berbeda (*antimagic*) dan membentuk pola "rainbow" dengan warna sisi-sisi yang beragam (Dafik dkk., 2019). Integrasi *adjacency* dengan metode *rainbow antimagic coloring* dapat menjadi bagian penting dari pengalaman pembelajaran mahasiswa dalam memahami, menerapkan, dan mengembangkan teknik *watermarking image* yang kompleks. *Rainbow antimagic coloring* juga memiliki tingkat keamanan yang tinggi karena menyembunyikan informasi rahasia di dalam gambar digital dengan

cara yang tidak mudah terdeteksi. Dengan demikian, hal ini dapat membantu meningkatkan pemahaman mereka tentang aspek-aspek kritis dalam keamanan data digital dan mengembangkan keterampilan *metaliteracy* yang dibutuhkan dalam era teknologi informasi modern.

Beberapa penelitian terkait *Research-Based Learning* (RBL) yaitu pengembangan perangkat pembelajaran RBL-STEM untuk meningkatkan keterampilan berpikir komputasional mahasiswa menyelesaikan masalah pewarnaan pelangi antiajaib dan aplikasinya pada masalah arus lalu lintas dengan spatial temporal GNN (Mursyidah, 2023). Penelitian lainnya yaitu pengembangan perangkat *Research-Based Learning* dengan pendekatan STEM dalam meningkatkan *metaliteracy* mahasiswa menyelesaikan masalah himpunan pasangan berurutan (Jannah dkk., 2024). Berdasarkan sintaksis RBL-STEM yang peneliti lain lakukan dalam menyelesaikan suatu permasalahan matematis, maka dilakukan penelitian yang serupa dalam pengembangan perangkat pembelajaran RBL-STEM dengan memecahkan permasalahan *watermarking image* menggunakan *rainbow antimagic coloring* dengan tujuan untuk mengembangkan keterampilan *metaliteracy* mahasiswa. Berdasarkan uraian di atas, maka topik yang digunakan yaitu "**Pengembangan Perangkat Pembelajaran RBL-STEM untuk Meningkatkan *Metaliteracy* Mahasiswa menyelesaikan Masalah *Watermarking Image* menggunakan *Rainbow Antimagic Coloring***"

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan dalam penelitian ini sebagai berikut:

- a. Bagaimana kerangka aktifitas pembelajaran RBL-STEM untuk meningkatkan *metaliteracy* mahasiswa menyelesaikan masalah *watermarking image* menggunakan *rainbow antimagic coloring*?
- b. Bagaimana proses dan hasil pengembangan perangkat RBL-STEM untuk meningkatkan *metaliteracy* mahasiswa menyelesaikan masalah *watermarking image* menggunakan *rainbow antimagic coloring*?

- c. Bagaimana Analisis peningkatan keterampilan *metaliteracy* mahasiswa menyelesaikan masalah *watermarking image* menggunakan *rainbow antimagic coloring* saat penerapan perangkat RBL-STEM?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah dan latar belakang di atas, maka tujuan yang akan dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Menganalisis kerangka aktifitas pembelajaran RBL-STEM untuk meningkatkan *metaliteracy* mahasiswa menyelesaikan masalah *watermarking image* menggunakan *rainbow antimagic coloring*;
- b. Menganalisis proses dan hasil pengembangan perangkat RBL-STEM untuk meningkatkan *metaliteracy* mahasiswa menyelesaikan masalah *watermarking image* menggunakan *rainbow antimagic coloring*;
- c. Menganalisis peningkatan *metaliteracy* mahasiswa menyelesaikan masalah *watermarking image* menggunakan *rainbow antimagic coloring* saat penerapan perangkat RBL-STEM.

### 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagi pendidik perguruan tinggi, sebagai masukan dan acuan dalam pembuatan perangkat RBL-STEM untuk meningkatkan *metaliteracy* mahasiswa menyelesaikan masalah *watermarking image* menggunakan *rainbow antimagic coloring*;
- b. Bagi calon pendidik perguruan tinggi, sebagai informasi untuk pembuatan perangkat RBL-STEM untuk meningkatkan *metaliteracy* mahasiswa menyelesaikan masalah *watermarking image* menggunakan *rainbow antimagic coloring*.

### 1.5 Spesifikasi Perangkat

Produk yang akan dihasilkan dari penelitian ini adalah perangkat RBL-STEM dalam masalah *watermarking image* menggunakan *rainbow antimagic coloring* yang diantaranya sebagai berikut:

- a. Rencana Pembelajaran Semester (RPS) dengan RBL-STEM dalam masalah *watermarking image* menggunakan *rainbow antimagic coloring*.
- b. Rancangan Tugas Mahasiswa (RTM) dengan RBL-STEM dalam masalah *watermarking image* menggunakan *rainbow antimagic coloring*.
- c. Lembar Kerja Mahasiswa (LKM) dengan RBL-STEM dalam masalah *watermarking image* menggunakan *rainbow antimagic coloring*.
- d. Tes Hasil Belajar (THB) untuk mengukur keterampilan *metaliteracy* mahasiswa berupa *post test* dan *pre test* dengan model RBL-STEM dalam masalah *watermarking image* menggunakan *rainbow antimagic coloring*.

## 1.6 Kebaharuan Penelitian

Adapun kebaruan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

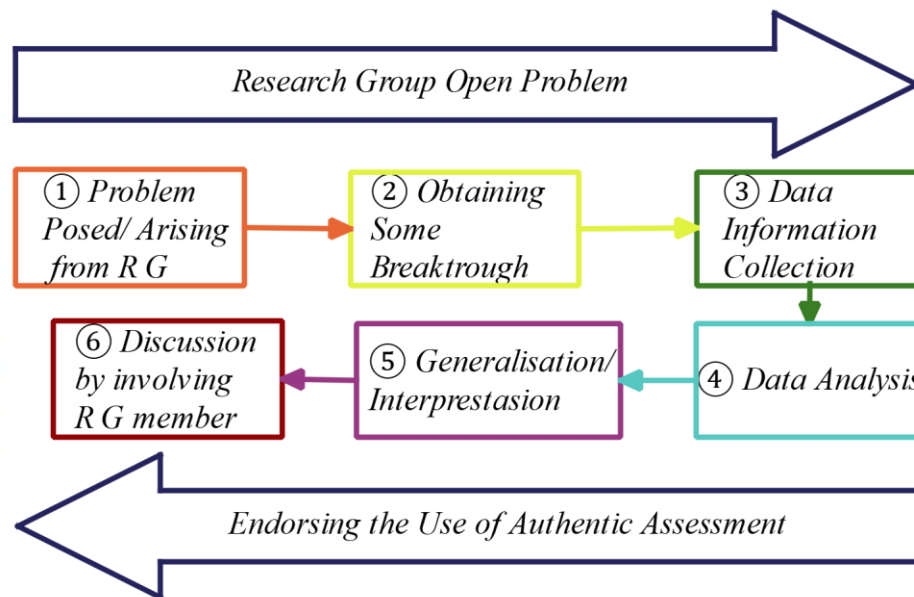
- a. Kerangka aktifitas pembelajaran RBL-STEM untuk meningkatkan *metaliteracy* mahasiswa menyelesaikan masalah *watermarking image* menggunakan *rainbow antimagic coloring*;
- b. Perangkat pembelajaran RBL-STEM dalam masalah *watermarking image* menggunakan *rainbow antimagic coloring* diantaranya yaitu Rancangan Tugas Mahasiswa (RTM) dengan mendeskripsikan tugas yang digunakan pada LKM yaitu masalah *watermarking image* menggunakan *rainbow antimagic coloring*; Lembar Kerja Mahasiswa (LKM) yang berisikan tugas, petunjuk, dan langkah pembelajaran dengan model RBL-STEM untuk meningkatkan *metaliteracy* mahasiswa menyelesaikan masalah *watermarking image* menggunakan *rainbow antimagic coloring*; serta Tes Hasil Belajar (THB) untuk mengukur keterampilan *metaliteracy* mahasiswa berupa *post test* dan *pre test* dengan RBL-STEM dalam masalah *watermarking image* menggunakan *rainbow antimagic coloring*;
- c. Hasil Analisis meningkatkan *metaliteracy* mahasiswa menyelesaikan masalah *watermarking image* menggunakan *rainbow antimagic coloring* menggunakan perangkat RBL-STEM.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 *Research-Based Learning* (RBL)

*Research-Based Learning* (RBL) adalah model baru dalam pendidikan yang memungkinkan mahasiswa memperoleh pengetahuan dan keterampilan melalui proses penelitian seperti pengumpulan informasi, pembuatan hipotesis, pengumpulan data, Analisis, dan penyusunan laporan (Octavianingrum, 2022). *Research-Based Learning* (RBL) bertujuan untuk menghasilkan pengalaman belajar yang mendorong Analisis, sintesis, dan evaluasi. Selain itu, RBL juga bertujuan untuk meningkatkan kemampuan mahasiswa dan pengajar dalam menerapkan pengetahuan (Rahim, 2019). *Research-Based Learning* (RBL) digabungkan dengan alat pembelajaran, dapat meningkatkan keterampilan mahasiswa dalam membuktikan dan aktifitas mereka selama proses pembelajaran (Hakim dkk., 2021).

Model *Research-Based Learning* (RBL) mendorong mahasiswa untuk terlibat secara aktif dalam kegiatan penelitian, seperti menyusun pertanyaan penelitian, mengumpulkan dan menganalisis data, serta menyajikan temuan mereka (Widayati, dkk, 2010). Melalui keterlibatan langsung dalam penelitian, mahasiswa tidak hanya meningkatkan pemahaman mereka terhadap materi, tetapi juga diharapkan dapat menanamkan karakter jiwa saintifik (ilmuwan) dalam diri mahasiswa (Maktoumi, dkk, 2016). Model *Research-Based Learning* (RBL) terdiri dari tiga elemen inti yang disebut dengan *tripel helix* yaitu pendidik/guru/dosen, kelas pembelajaran, dan kelompok riset (Dafik dkk., 2019). Relasi triple helix inilah yang kemudian dijadikan dasar pelaksanaan *Research-Based Learning*. Sintaks *Research-Based Learning* (RBL) menurut (Suntusia dkk., 2019) yang direvisi oleh (Gita dkk., 2021) disajikan secara grafis dalam Gambar 2.1.



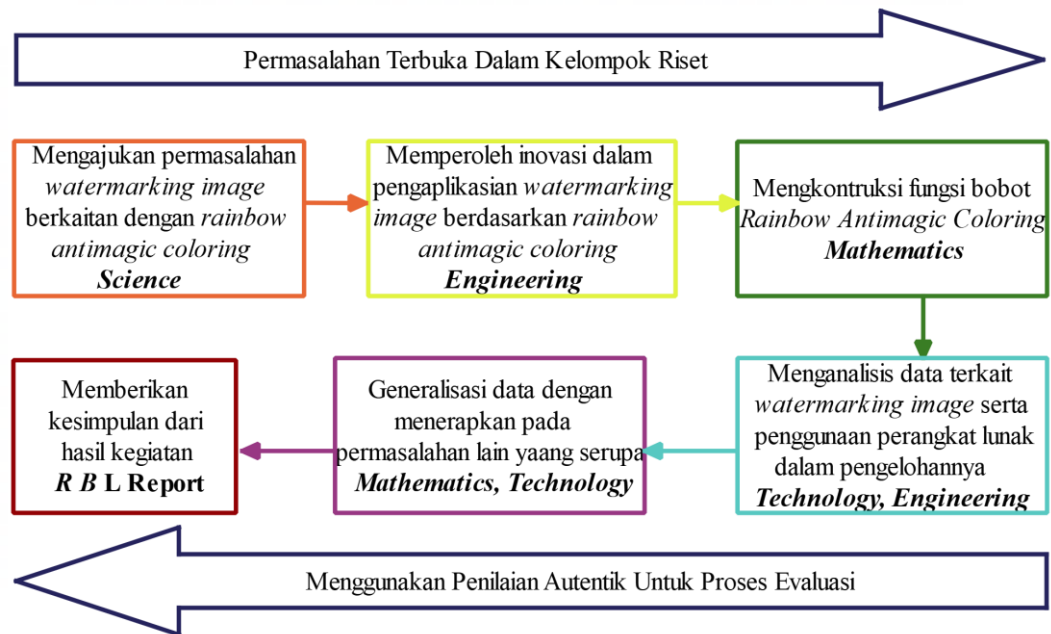
Gambar 2. 1 Sintaks Pembelajaran Model *Research-Based Learning* (RBL)

## 2.2 *Science, Technology, Engineering, Mathematics* (STEM)

*National Science Foundation* (NFS) memperkenalkan inovasi baru dalam pendidikan di Amerika Serikat pada tahun 1990 yaitu pembelajaran berbasis STEM singkatan dari *Science, Technology, Engineering and Mathematics* (Fathoni, 2020). Pendekatan ini adalah pendekatan yang mengupayakan menghasilkan sumber daya manusia dengan kognitif, psikomotorik dan afektif yang berkualitas. Pembelajaran berbasis STEM untuk menyelesaikan kasus dengan menerapkan pengetahuan dan keterampilan secara bersamaan. Pendekatan ini tidak hanya menekankan pada penguasaan konsep-konsep ilmiah, tetapi juga mengedepankan penerapan konsep tersebut dalam situasi dunia nyata melalui proses pemecahan masalah (Sufirman dkk., 2022). Dengan demikian, STEM bukan hanya menjadi pendekatan pembelajaran yang inovatif, tetapi juga berpotensi untuk membantu mempersiapkan generasi muda untuk menjadi individu yang kompeten dan siap menghadapi tantangan masa depan.

Penelitian ini akan menerapkan model pembelajaran berbasis *Research-Based Learning* (RBL) dengan pendekatan STEM untuk meningkatkan keterampilan *metaliteracy* dalam menyelesaikan masalah *watermaking image*

dengan *rainbow antimagic coloring*. Tahapan RBL-STEM pada penelitian ini disajikan pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Tahapan RBL-STEM

### 2.3 *Metaliteracy*

*Metaliteracy* merupakan kerangka berfikir menyeluruh yang didalamnya mencakup literasi informasi (Jacobson, 2015). *Metaliteracy* menggambarkan suatu kerangka pemikiran yang menyeluruh dan berfungsi sebagai panduan yang luas dan mandiri dibandingkan dengan jenis literasi lainnya. Sebagai contoh, literasi informasi menjadi salah satu bentuk *metaliteracy* dalam era digital karena mengharuskan kemampuan berpikir tingkat tinggi untuk mengelola berbagai jenis dokumen dalam beragam format media di lingkungan yang bersifat kolaboratif (Mackey, 2020). Keterampilan *metaliteracy* menekankan pentingnya kemampuan individu untuk secara efektif mengelola, mengevaluasi, dan berpartisipasi dalam berbagai bentuk informasi dalam era digital yang terus berkembang. Penggunaan *metaliteracy* menunjukkan cara berpikir literasi seseorang dan menekankan pemikiran yang kritis dan refleksi yang diperlukan sebagai produser, kolaborator dan distributor (Mackey & Jacobson, 2011). Indikator *metaliteracy* digambarkan

secara skematik dengan menerapkan penggunaan *internet of things* yang disajikan pada Tabel 2.1 (Kurniawati dkk, 2022).

Tabel 2. 1 Indikator *Metaliteracy*

Indikator	Sub Indikator
<b>Produce (memproduksi)</b>	Mengidentifikasi sifat atau karakteristik dari masalah
	Mendapatkan inovasi
	Mengembangkan atau menentukan tahapan, fase, sintaks atau algoritma
<b>Incorporate (menyisipkan)</b>	Mengidentifikasi pola dari solusi
	Generalisasi pola
<b>Use (menggunakan)</b>	Menggunakan Internet of Things, seperti perangkat lunak, platform, aplikasi untuk mengintegrasikan hasil
	Menguji/menilai hasil
	Menganalisis hasil
	Menafsirkan hasil
<b>Share (membagi)</b>	Menerapkan hasil
	Melakukan presentasi hasil
	Melakukan refleksi dan evaluasi terhadap umpan balik
	Mengevaluasi jumlah tanggapan peserta
<b>Collaborate (bekerja sama)</b>	Menganalisis tanggapan
	Bekerja sama dengan beberapa orang lain dengan menggunakan IoT platform
	Mendorong orang untuk berbuat lebih banyak untuk menyumbangkan temuan
	Menentukan pekerjaan masa depan bersama untuk masyarakat yang lebih luas

Modifikasi indikator dan sub indikator *metaliteracy* yang sesuai dengan penelitian disajikan dalam Tabel 2.2. Indikator *metaliteracy produce*, *incorporate* dan *use* dilihat dari hasil pengerjaan *pretest* dan *posttest*, sedangkan indikator *metaliteracy share* dan *collaborate* dilihat dalam proses pembelajaran menggunakan LKM dan wawancara.

Tabel 2. 2 Pengembangan Indikator *Metaliteracy* dalam Penelitian

Indikator	Pengembangan Sub Indikator
<b>Produce (memproduksi)</b>	Mahasiswa mampu mengidentifikasi permasalahan terkait <i>watermaking image</i>
	Mahasiswa mampu mengembangkan atau menyusun inovasi terkait <i>watermaking image</i> dengan graf
	Mahasiswa mampu merancang langkah-langkah teknik yang diperoleh untuk <i>watermaking image</i>
<b>Incorporate (menyisipkan)</b>	Mahasiswa mampu mengidentifikasi pola pada graf
	Mahasiswa mampu mengidentifikasi konsep <i>rainbow antimagic coloring</i> dan menghubungkannya pada graf dasar, memberikan notasi, menyusun himpunan titik dan sisi, kardinalitas serta batas bawah dari $rac(G)$
	Mahasiswa mampu memanfaatkan perangkat lunak MATLAB untuk <i>watermaking image</i> dan FX Draw untuk menggambar graf
<b>Use (menggunakan)</b>	Mahasiswa mampu mengexpand graf hingga order tertentu dan rumus $rac$ dari graf hingga order ke $n$ serta dapat membuktikan kebenaran rumus tersebut

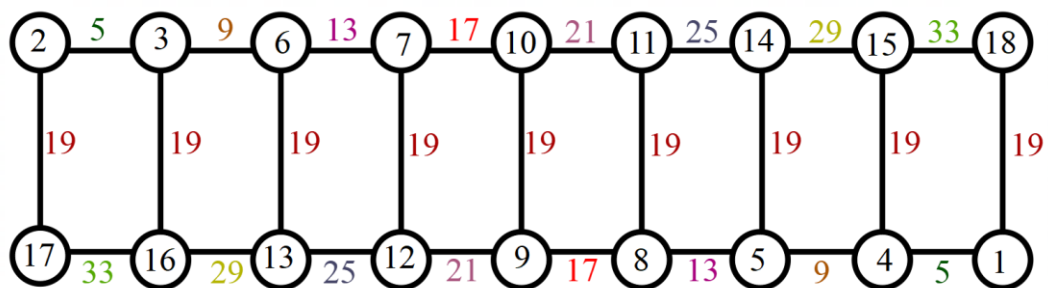
Indikator	Pengembangan Sub Indikator
<b>Share (membagi)</b>	Mahasiswa mampu menganalisis hasil bobot sisi yang telah ditentukan kedalam permasalahan <i>watermarking image</i>
	Mahasiswa mampu menggeneralisasikan hasil penyelesaian ke permasalahan yang lain
	Mahasiswa mampu mengaplikasikan hasil dari permasalahan ke dalam kehidupan sehari-hari
	Mahasiswa mampu mempresentasikan hasil di depan kelas dan diskusi antar kelompok
<b>Collaborate (bekerja sama)</b>	Mahasiswa mampu menyimpulkan dan mengevaluasi umpan balik
	Mahasiswa mampu mengevaluasi jumlah tanggapan peserta
	Mahasiswa mampu menganalisis tanggapan yang diberikan untuk mengembangkan hasil
	Mahasiswa mampu mereview ulang hasil dari pengaplikasian <i>watermaking image</i> pada <i>rainbow antimagic coloring</i>
	Mahasiswa mampu mengidentifikasi permasalahan terbuka mengenai pengaplikasian <i>watermaking image</i> yang dihubungkan dengan graf
	Mahasiswa mampu menilai kebermanfaatan hasil penelitian

#### 2.4 *Rainbow Antimagic Coloring (RAC)*

Graf  $G$  adalah pasangan himpunan  $(V, E)$  dengan  $V(G)$  himpunan tidak kosong dari elemen yang disebut titik (vertex) dan  $E(G)$  himpunan (mungkin kosong) dari pasangan tak berurutan pada titik-titik berbeda dari  $V$  yang disebut sisi (edge) (Budi dkk., 2021). Pelabelan graf adalah pemetaan dari himpunan elemen dalam graf baik berupa titik, sisi atau keduanya kedalam himpunan bilangan bulat positif atau bilangan asli (Dafik dkk., 2019). Jika terdapat fungsi bijektif pada graf  $G, f: E(G) \rightarrow \{1, 2, \dots, |E(G)|\}$  dengan jumlah titik yang berpasangan memiliki nilai bobot berbeda disebut pelabelan antiajaib (Mursyidah dkk., 2023). Pewarnaan graf adalah pemberian sebuah warna pada himpunan titik dan sisi pada graf. Jika terdapat graf  $G$  adalah graf yang memiliki lintasan pelangi dengan pewarnaan sisi  $c: E(G) \rightarrow \{1, 2, 3, \dots, k\}$ , dengan ketentuan  $k$  adalah bagian dari bilangan asli dimana sisi yang bertetangga dapat memiliki warna yang sama disebut pewarnaan pelangi (Mursyidah dkk., 2023.).

*Rainbow antimagic coloring* adalah gabungan dari pelabelan antiajaib dan pewarnaan pelangi (Dafik dkk., 2019). Misalkan sebuah fungsi bijektif  $f: V(G) \rightarrow \{1, 2, \dots, V(G)\}$ , bobot yang dihasilkan untuk sebuah sisi  $uv \in E(G)$  dari  $f$  adalah  $w(uv) = f(u) + f(v)$ . Sebuah lintasan  $P$  adalah graf  $G$  yang titiknya terlabeli dikatakan sebagai lintasan pelangi, jika untuk setiap dua sisi  $uv, u'v' \in E(P), w(uv) \neq w(u'v')$  (Meganingtyas dkk., 2024). Jika setiap dua titik  $u$  dan  $v$

dari graf  $G$  terdapat lintasan pelangi  $u - v$ , maka  $f$  disebut pelabelan pelangi antiajaib (Budi dkk., 2021). Jumlah warna terkecil yang diperlukan untuk membuat graf  $G$  terkoneksi pelangi antiajaib disebut *rainbow antimagic connection number* (bilangan koneksi pelangi antiajaib) dinotasikan dengan  $rac(G)$ . *Rainbow antimagic connection number* memiliki batas bawah yaitu  $rac(G) \geq \max\{rc(G), \Delta(G)\}$  (Septory dkk., 2023). Contoh *rainbow antimagic coloring* pada graf tangga dapat dilihat pada Gambar 2.3. *Rainbow antimagic coloring* dari Gambar 2.3 menghasilkan 9 warna sesuai batas bawah yaitu  $rac(L_9) \geq \max\{9, 3\}$ .



Gambar 2. 3 *Rainbow Antimagic Coloring* Graf Tangga  $n = 9$ ,  $RAC = 9$

## 2.5 Watermarking Image

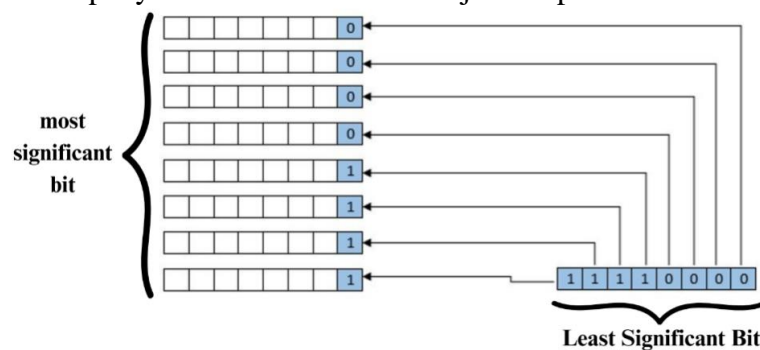
*Watermarking* merupakan suatu teknik yang dapat menjaga hak cipta, menjaga otentikasi konten, kontrol penyalinan dan melindungi konten digital setelah proses dekripsi (Alshoura dkk., 2021). *Watermarking image* adalah teknik yang digunakan untuk menyisipkan informasi rahasia ke dalam gambar digital dengan tujuan melindungi hak cipta, mengidentifikasi pemilik, atau menandai keaslian gambar. Citra merupakan media digital yang mudah diubah sehingga rentan digunakan untuk kejahatan. Perubahan gambar mungkin dipengaruhi oleh internet yang tidak stabil selama transmisi atau manipulasi gambar yang disengaja untuk tujuan tertentu.

Oleh karena itu diperlukan suatu alat untuk mengetahui keaslian gambar tersebut. Salah satu strategi yang dapat digunakan adalah dengan menyisipkan kode ke dalam keseluruhan gambar, sehingga setiap perubahan pada informasi gambar dapat terdeteksi. Proses penyisipan ini tidak mengubah tampilan gambar, sehingga dapat melindungi gambar dengan baik dan memastikan keasliannya. Teknik

penyisipan kode dalam *watermarking image* dapat menggunakan *Least Significant Bit* (LSB). Tampilan fisik citra yang diberi *watermark* dapat diamati dengan dua parameter penting harus dihitung, yaitu *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR) dan *Structural Similarity Index Measure* (SSIM) (Horé & Ziou, 2010).

## 2.6 *Least Significant Bit* (LSB)

*Least Significant Bit* (LSB) merupakan pendekatan penyematan *watermark* domain spasial sederhana. Dalam pendekatan ini, bit *watermark* disisipkan di sisi paling kanan piksel. *Least Significant Bit* (LSB) adalah teknik yang sederhana namun kuat karena manipulasi tingkat piksel langsungnya (Faheem dkk., 2023). Mekanisme penyematan *watermark* ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Mekanisme Penyematan *Watermark*

Teknik *Least Significant Bit* (LSB) digunakan karena sederhana dan mempunyai kapasitas *payload* yang tinggi sehingga bit *watermark* yang disisipkan lebih banyak. Semakin banyak bit *watermark* yang disisipkan, semakin kuat tekniknya. Dengan teknik ini, nilai PSNR dan korelasi normalisasi (NC) menghasilkan perbedaan besar dibandingkan dengan metode canggih. Setiap piksel pada gambar akan disisipkan kode kotak ajaib dengan menggunakan metode *Least Significant Bit* (LSB). Metode *Least Significant Bit* (LSB) mempunyai kelebihan yaitu tidak menghasilkan perubahan yang terlihat pada gambar dan memberikan deteksi interferensi yang sangat tinggi (Santoso dkk., 2022).

## 2.7 *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR)

Nilai *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR) digunakan untuk mengukur tampilan visual. Besarnya nilai *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR) menunjukkan

adanya kesetaraan visual antara citra asli dan citra yang diberi watermark (Faheem dkk., 2023). *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR) biasanya dinyatakan dalam desibel (dB). Nilai *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR) yang lebih rendah dari 30dB menunjukkan bahwa kualitasnya cukup rendah, yaitu distorsi yang disebabkan oleh penyisipan terlihat jelas. Namun, kualitas tinggi harus berusaha mencapai 40dB dan di atas. Oleh karena itu, semakin besar nilai *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR) dari kode gambar yang disisipkan, maka gambar aslinya akan semakin mirip dan akan sulit dibedakan oleh mata manusia (Santoso dkk., 2022). *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR) didefinisikan sebagai berikut:

$$PSNR = 10 \log_{10} \left( \frac{C_{max}^2}{MSE} \right)$$

Dimana  $C_{max}^2$  merupakan nilai maksimum pixel dalam gambar dan MSE (Mean Square Error) dinyatakan sebagai:

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (S_{xy} - C_{xy})^2$$

Dimana  $x$  dan  $y$  adalah koordinat gambar,  $M$  dan  $N$  adalah dimensi gambar,  $S_{xy}$  adalah kode yang dimasukkan gambar, dan  $C_{xy}$  adalah gambar asli.

## 2.8 *Structural Similarity Index Measure (SSIM)*

*Structural Similarity Index Measure (SSIM)* mengukur kemiripan piksel antara gambar asli dan gambar yang diberi watermark. *Structural Similarity Index Measure (SSIM)* adalah metrik yang digunakan untuk mengukur seberapa baik sebuah gambar yang telah dimodifikasi dengan kompresi atau pengolahan lainnya, tetap mempertahankan struktur, tekstur, dan detailnya dibandingkan dengan gambar asli. Metrik ini memiliki tujuan untuk menilai perbedaan visual yang terjadi selama proses pengolahan atau kompresi gambar. Formula *Structural Similarity Index Measure (SSIM)* digunakan secara luas dalam pemrosesan citra digital untuk mengevaluasi kualitas gambar yang direkonstruksi atau dikompresi (Horé & Ziou, 2010). Formula *Structural Similarity Index Measure (SSIM)* memiliki beberapa komponen, dan versi dasarnya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$SSIM(x, y) = l(x, y) \cdot c(x, y) \cdot s(x, y)$$

Dimana  $l(x, y)$  adalah komponen kecerahan lokal yang mengukur perbedaan kecerahan antara dua gambar. Ini sering dihitung menggunakan rata-rata kecerahan dari kedua gambar.  $c(x, y)$  adalah komponen kontras lokal yang mengevaluasi perbedaan kontras antara dua gambar. Ini dihitung berdasarkan deviasi standar dari kecerahan kedua gambar.  $s(x, y)$  adalah komponen struktur, yang menilai sejauh mana struktur spasial pada gambar yang dievaluasi dipertahankan dalam gambar lainnya. Ini dihitung berdasarkan kovarian dari kedua gambar.

Setelah mendapatkan nilai-nilai untuk setiap komponen ini, mereka kemudian dikalikan bersama untuk menghasilkan nilai keseluruhan dari indeks kesamaan struktural antara dua gambar. Nilai *Structural Similarity Index Measure* (SSIM) berkisar dari -1 hingga 1, di mana nilai 1 menunjukkan kesamaan sempurna antara gambar-gambar tersebut, sedangkan nilai -1 menunjukkan ketidaksamaan total. Semakin tinggi nilai *Structural Similarity Index Measure* (SSIM), semakin mirip kedua gambar tersebut (Ndajah dkk., 2010).

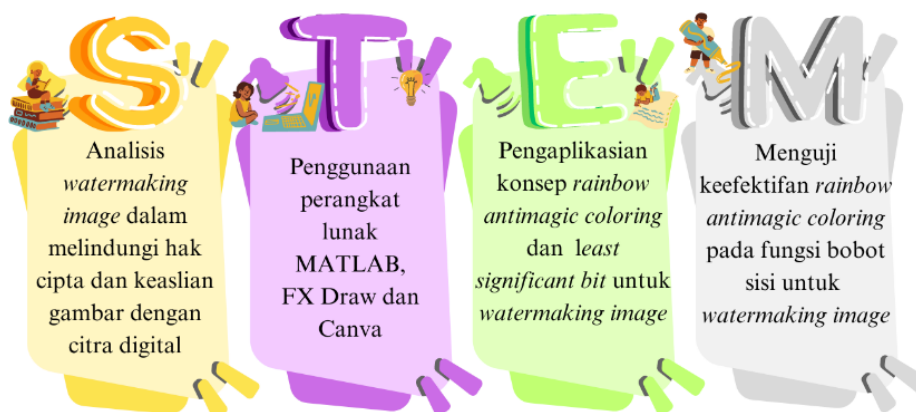
## 2.9 Problematika STEM

Dalam era digital yang semakin maju, masalah keamanan informasi menjadi semakin penting. Dalam dunia digital yang terus berkembang, kebutuhan akan perlindungan hak cipta dan keaslian konten gambar semakin meningkat. *Watermarking image* adalah salah satu cara untuk melindungi hak cipta dan mengidentifikasi keaslian gambar. Konteks pengolahan citra digital, *adjacency* merujuk pada hubungan antara piksel-piksel tetangga dalam sebuah citra. Pemahaman yang mendalam tentang *adjacency* penting dalam pengembangan teknik *watermarking image*, di mana penempatan *watermark* sering kali bergantung pada karakteristik *adjacency* piksel-piksel. Oleh karena itu, fenomena tersebut dapat dijadikan sebagai latar belakang permasalahan dalam sains.

*Watermarking image* membutuhkan teknologi untuk melindungi citra digital dan keaslian gambar. Teknologi yang diperlukan adalah MATLAB untuk proses *watermark* gambar. Selain teknologi yang mendukung, diperlukan juga teknik yang tepat untuk menyelesaikan masalah *watermarking image*, yaitu

menggunakan bidang matematika pada pokok bahasan *Rainbow Antimagic Coloring* (RAC). *Rainbow Antimagic Coloring* (RAC) memanfaatkan konsep warna dan koefisien keunikan dari gambar untuk menyembunyikan watermark secara efisien dan efektif, sehingga menjadi solusi yang menarik untuk meningkatkan keamanan *watermarking image*. Meskipun *Rainbow Antimagic Coloring* (RAC) menawarkan potensi sebagai teknik *watermarking* yang lebih tangguh, masih ada tantangan yang harus diatasi, seperti kinerja komputasi yang tinggi atau kompatibilitas dengan berbagai jenis gambar.

Teknik *Least Significant Bit* (LSB) merupakan metode yang sederhana namun memiliki kekuatan karena langsung memanipulasi tingkat pikselnya. LSB memiliki toleransi terhadap modifikasi minor pada gambar, seperti kompresi tanpa kehilangan, perubahan ukuran, atau rotasi. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa perubahan kecil pada bit LSB mungkin tidak mengganggu tampilan visual secara signifikan, dan *watermark* masih dapat dipulihkan dengan akurasi tinggi. Penggabungan konsep *adjacency* dengan pendekatan *rainbow antimagic coloring* serta teknik *Least Significant Bit* (LSB) mungkin menjadi elemen kunci dalam proses pembelajaran mahasiswa untuk memahami, mengaplikasikan, dan mengembangkan teknik *watermarking image* yang lebih lanjut dan canggih. Dengan serangkaian problematika tersebut, maka dapat disajikan unsur problematika STEM pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Unsur-unsur STEM

## **BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN**

### **3.1 Jenis Penelitian**

Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian dan pengembangan (*research and development*). Tujuan penelitian ini untuk mengembangkan perangkat pembelajaran berbasis riset (*research-based learning*) dengan menggunakan pendekatan STEM. Hasil dari penelitian ini mencakup berbagai produk perangkat pembelajaran berupa Rencana Pembelajaran Semester (RPS), Rancangan Tugas Mahasiswa (RTM), Lembar Kerja Mahasiswa (LKM), dan Tes Hasil Belajar (THB).

### **3.2 Subjek, Waktu, dan Tempat Penelitian**

Pada penelitian ini menggunakan subjek mahasiswa Strata-1 pada semester 5 yang menempuh mata kuliah aplikasi graf. Penelitian ini dilaksanakan pada semester ganjil tahun ajaran 2024/2025 di Program Studi Pendidikan Matematika, Universitas Jember.

### **3.3 Definisi Operasional**

Definisi operasional bertujuan untuk memberikan kejelasan mengenai bagaimana konsep atau variabel dalam penelitian diukur atau diterapkan, sehingga semua pihak memiliki pemahaman yang sama. Definisi operasional dari penelitian ini sebagai berikut:

- 1) Pengembangan perangkat pembelajaran pada penelitian ini berupa Rancangan Tugas Mahasiswa (RTM) dengan mendeskripsikan tugas yang digunakan pada LKM yaitu masalah *watermarking image* menggunakan *rainbow antimagic coloring*; Lembar Kerja Mahasiswa (LKM) yang berisikan tugas, petunjuk, dan langkah pembelajaran; serta Tes Hasil Belajar (THB) untuk mengukur keterampilan *metaliteracy* mahasiswa berupa *post test* dan *pre test*.
- 2) RBL-STEM (Research-Based Learning in Science, Technology, Engineering, and Mathematics) adalah pendekatan pembelajaran yang melibatkan mahasiswa secara aktif dalam penelitian di bidang sains, teknologi, teknik, dan

matematika, dengan tujuan meningkatkan keterampilan berpikir kritis, analitis, dan pemecahan masalah melalui pengalaman praktis dalam riset.

- 3) *Metaliteracy* adalah Kemampuan mahasiswa untuk mencari, memahami, menilai, serta mengelola informasi dengan cermat dalam lingkungan pembelajaran digital dan teknologi termasuk memahami cara informasi dibuat dan dibagikan.
- 4) *Watermarking image* adalah teknik menyisipkan informasi digital (*watermark*) ke dalam gambar untuk melindungi hak cipta atau *autentikasi*, sehingga kepemilikan atau sumber gambar dapat tetap diidentifikasi meskipun gambar tersebut telah diubah atau diproses.
- 5) *Rainbow antimagic coloring* adalah kombinasi dari pelabelan antiajaib dan pewarnaan pelangi pada graf, di mana setiap lintasan dalam graf memiliki bobot sisi yang berbeda. Bilangan koneksi pelangi antiajaib  $rac(G)$  adalah jumlah warna minimum yang diperlukan untuk membuat graf terhubung secara pelangi antiajaib.

### 3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang diterapkan dalam penelitian ini menggunakan model pengembangan Thiagarajan, yang dikenal sebagai Model 4D. Model ini terdiri dari tahap pendefinisian (*define*), tahap perancangan (*design*), tahap pengembangan (*develop*), dan tahap penyebaran (*disseminate*). Bagan skema pengembangan perangkat pembelajaran 4D-Model dapat dilihat pada Gambar 3.1. Tahapan dalam penelitian ini dipaparkan sebagai berikut:

#### 1) Tahap Pendefinisian

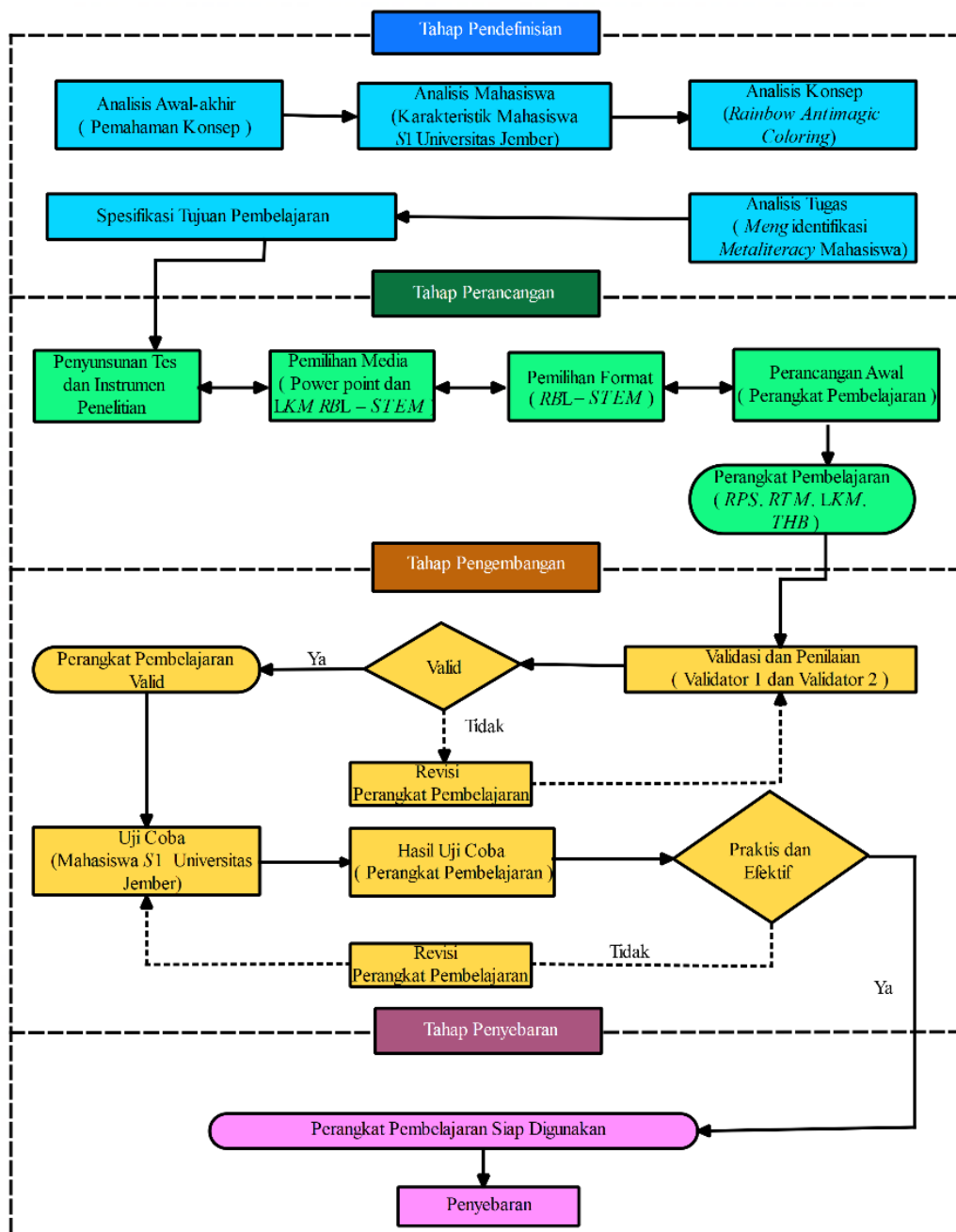
Tahap pendefinisian (*define*) adalah langkah awal dalam proses studi yang bertujuan untuk mengidentifikasi kebutuhan yang diperlukan dalam pembelajaran serta merancang kerangka awal. Tahap ini terdiri dari lima tahap, yaitu:

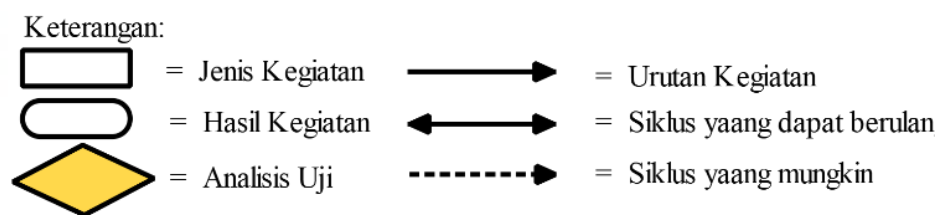
- a) Analisis awal dan akhir untuk menyusun dan mengidentifikasi masalah yang muncul dalam proses pembelajaran.
- b) Analisis mahasiswa untuk menelaah karakteristik mahasiswa terhadap keterampilan *metaliteracy* mahasiswa.

- c) Analisis konsep untuk mengidentifikasi, merinci dan menyusun secara sistematis konsep relevan yang akan diajarkan berdasarkan Analisis awal-akhir yang telah dilakukan.
  - d) Analisis tugas untuk mengidentifikasi keterampilan utama yang diperlukan dalam proses pembelajaran yang sesuai dengan kurikulum.
  - e) Spesifikasi tujuan pembelajaran untuk merumuskan atau menentukan tujuan pembelajaran yang akan dicapai oleh mahasiswa yang diperoleh dari Analisis tugas dan Analisis konsep.
- 2) Tahap Perancangan
- Tahap desain (*design*) bertujuan untuk mengembangkan perangkat pembelajaran yang akan digunakan, sehingga menghasilkan contoh konkret dari perangkat pembelajaran tersebut. Terdiri dari empat tahap yaitu:
- a) Penyusunan tes dan instrumen penelitian. Penyusunan tes berupa *pretest* dan *posttest* dengan materi *rainbow antimagic coloring* (RAC). Penyusunan instrumen penelitian berupa lembar validasi, keterlaksanaan pembelajaran, dan observasi aktivitas.
  - b) Pemilihan media merupakan langkah yang dilakukan untuk menentukan media yang tepat dan sesuai dengan materi yang telah dipilih.
  - c) Pemilihan format merupakan langkah untuk memilih format yang digunakan dalam menyusun media pembelajaran yang meliputi rancangan isi, strategi pembelajaran, dan sumber rujukan dalam pembelajaran.
  - d) Perancangan awal adalah seluruh rancangan perangkat pembelajaran yang harus dikerjakan sebelum diuji coba. Tahap ini berupa rancangan seluruh komponen perangkat pembelajaran yang meliputi RPS, RTM, LKM, dan THB.
- 3) Tahap Pengembangan
- Tahap pengembangan (*develop*) bertujuan untuk menghasilkan produk pengembangan terdiri dari dua langkah, yaitu penilaian ahli yang diikuti dengan revisi dan uji coba perangkat pembelajaran yang dikembangkan.

#### 4) Tahap Penyebaran

Tahap penyebaran (*dissemate*) merupakan tahap menyebarkan perangkat pembelajaran yang sudah dikembangkan agar dapat digunakan pada skala yang lebih besar. Tahap penyebaran ini dilakukan dengan cara mengunggah perangkat yang dikembangkan peneliti dalam bentuk *e-book* ke internet agar dapat diunduh oleh universitas lain. Ilustrasi tahapan pengembangan perangkat pembelajaran dengan 4D-model dapat dilihat pada Gambar 3.1.





Gambar 3. 1 Tahapan Pengembangan Perangkat Pembelajaran Model 4-D

### 3.5 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini didasarkan pada instrumen penelitian yang melibatkan validasi perangkat pembelajaran, pengamatan pelaksanaan pembelajaran, pengumpulan data hasil belajar, observasi aktivitas, serta kuesioner respon. (Hobri, 2021). Tabel 3.1 berisi tentang aspek yang dinilai, data, instrument, metode, dan responden pada penelitian.

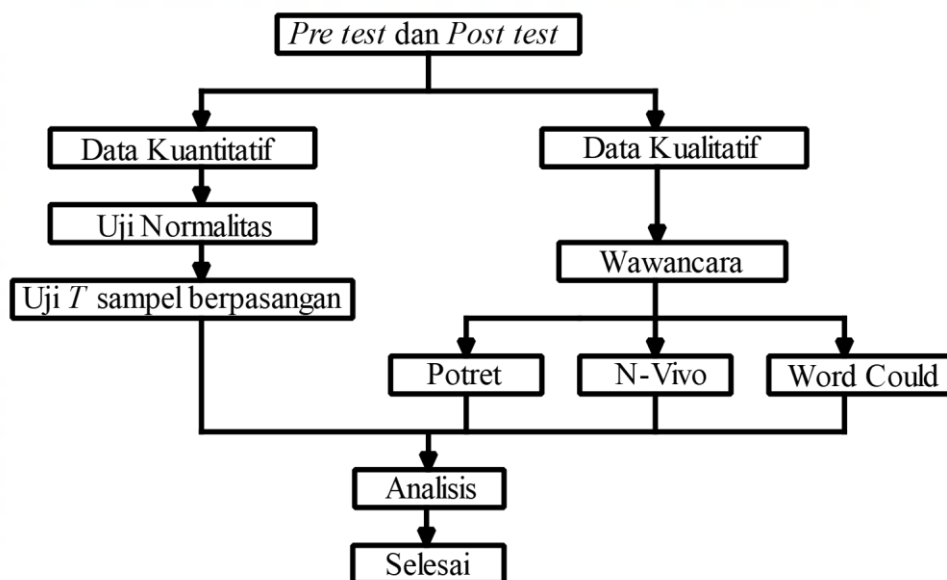
Tabel 3. 1 Aspek yang Dinilai dalam Penelitian

Aspek yang dinilai	Data	Instrumen	Metode	Responden
<b>Kevalidan perangkat dan instrument</b>	Validitas perangkat dan instrumen	Lembar validasi	Angket	Ahli dan praktisi
<b>Kepraktisan perangkat</b>	Hasil observasi keterlaksanaan perangkat pembelajaran	Lembar observasi keterlaksanaan perangkat pembelajaran Angket respon mahasiswa	Observasi Angket	Observer Subjek uji coba
<b>Keefektifan perangkat</b>	Hasil tes belajar, hasil respon mahasiswa, hasil observasi	Tes hasil belajar Lembar observasi aktivitas mahasiswa	Tes Observasi	Subjek uji coba Observer

### 3.6 Teknik Analisis Data

Penggunaan teknik analisis data bertujuan sebagai acuan untuk melakukan penyesuaian pada perangkat pembelajaran yang sedang dikembangkan, sehingga perangkat tersebut dapat mencapai standar kualitas yang diinginkan sesuai dengan kriteria yang telah ditetapkan. Dalam penelitian ini, diterapkan dua pendekatan analisis data, yakni tahap pertama menggunakan analisis data kuantitatif dan tahap kedua dengan menggunakan analisis data kualitatif. Analisis data kualitatif sebagai

penguat dari hasil yang diperoleh dari analisis data kuantitatif. Skema yang menjelaskan tentang teknik analisis data yang akan digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Skema Teknik Analisis Data

### 3.5.1 Analisis Data Kuantitatif

Analisis statistik diterapkan untuk mengevaluasi data yang diperoleh dari pengamatan terhadap aktivitas mahasiswa selama berlangsungnya proses pembelajaran. Penelitian ini menggunakan aplikasi SPSS untuk melakukan uji statistik. Variabel bebas yang diuji adalah perangkat *research-based learning* dengan pendekatan STEM, sementara variabel terikatnya adalah keterampilan *metaliteracy* mahasiswa. Uji statistik yang dilakukan dalam analisis data kuantitatif sebagai berikut.

#### 1) Uji Normalitas

Uji normalitas merupakan sebuah uji yang dilakukan untuk memastikan bahwa sejumlah populasi yang diukur termasuk berdistribusi normal atau tidak. Pengujian normalitas menggunakan uji *Kolmogorov Smirnov*. Data dikatakan berdistribusi normal jika memenuhi kriteria uji normalitas yaitu jika nilai signifikasinya lebih dari 0,05, sedangkan jika nilai signifikasinya kurang dari 0,05 maka data tersebut tidak berdistribusi normal.

## 2) Uji t Sampel Berpasangan (*Paired Sample t-Test*)

Uji t sampel berpasangan merupakan uji beda antara dua sampel berpasangan yang memiliki subjek yang sama, namun mengalami perlakuan yang berbeda pada dua pengujian yang dilakukan pada waktu yang berbeda. Data penelitian yang didapatkan di lakukan uji persyaratan terlebih dahulu yaitu uji normalitas. Dalam penelitian ini, uji t digunakan untuk mengevaluasi apakah terjadi peningkatan keterampilan *metaliteracy* mahasiswa setelah diterapkannya perangkat *research-based learning* dengan pendekatan STEM pada masalah *rainbow antimagic coloring*.

### 3.5.2 Analisis Data Kualitatif

#### 1) Potret Fase

Potret fase dalam penelitian ini bertujuan untuk menggambarkan alur berpikir mahasiswa dalam menyelesaikan suatu masalah. Berikut adalah langkah-langkahnya: 1) Peneliti menyusun pernyataan-pernyataan yang menggambarkan indikator keterampilan *metaliteracy* berdasarkan hasil observasi dari pengerjaan *posttest*; 2) Peneliti menganalisis hasil *posttest* yang dikerjakan oleh mahasiswa, 3) Peneliti menuliskan urutan indikator tersebut dalam bentuk ilustrasi alur potret fase.

#### 2) N-Vivo

Program ini untuk melakukan Analisis data serta memvisualisasikan model dengan menggunakan fitur-fitur yang tersedia dalam *launch pad N-Vivo*. Dalam penelitian ini, hasil dari wawancara pada potret fase dianalisis melalui proses koding dalam tahap reduksi data dengan bantuan perangkat lunak N-Vivo 14. Berikut adalah langkah-langkahnya: 1) Menyimpan file yang berisikan jawaban wawancara mahasiswa berdasarkan kategori-kategori tertentu; 2) Kategori sesuai indikator tersebut kemudian diimplementasikan dalam bentuk koding; 3) Pada *launch pad N-Vivo*, pilih opsi *explore*, *word frequency*, *selected item*, kemudian mencentang semua *file*, klik *run query* dan menampilkan *word cloud* di sisi kanan; 4) Memilih opsi *explore*, *diagram*, *compare file*, lalu mencentang 2 *file* untuk mengetahui pencapaian indikator tersebut.

### 3) *Word cloud*

*Word cloud* adalah representasi visual yang menampilkan kata-kata dari sebuah teks, di mana ukuran hurufnya lebih besar untuk kata-kata yang sering muncul dalam teks tersebut. Hal ini digunakan untuk menunjukkan kata-kata yang penting atau sering muncul dalam teks yang dianalisis, dan dapat membantu dalam mengevaluasi teks tersebut, menemukan topik, atau mengeksplorasi ide-ide baru. Dalam penelitian ini, *word cloud* digunakan untuk menganalisis hasil wawancara menggunakan N-Vivo. Berikut adalah langkah-langkahnya: 1) Menyiapkan kuesioner untuk mahasiswa; 2) Mengelompokkan beberapa jawaban yang serupa menjadi beberapa tipe dan memberikan simbolisasi agar memudahkan analisis; 3) Menyusun data dalam format Excel untuk mendapatkan frekuensi jawaban mahasiswa sesuai dengan kuesioner dan tipe jawaban; 4) Menggunakan Microsoft Office 365 Online; 5) Masukkan data rekapitulasi hasil kuesioner Excel, memilih *insert*, kemudian pilih *add-ins*; 6) Mencari *word cloud*, lalu klik *add*, *continue*, hingga muncul *Bjorn's word clouds*; 7) Pilih *creat a word cloud*.

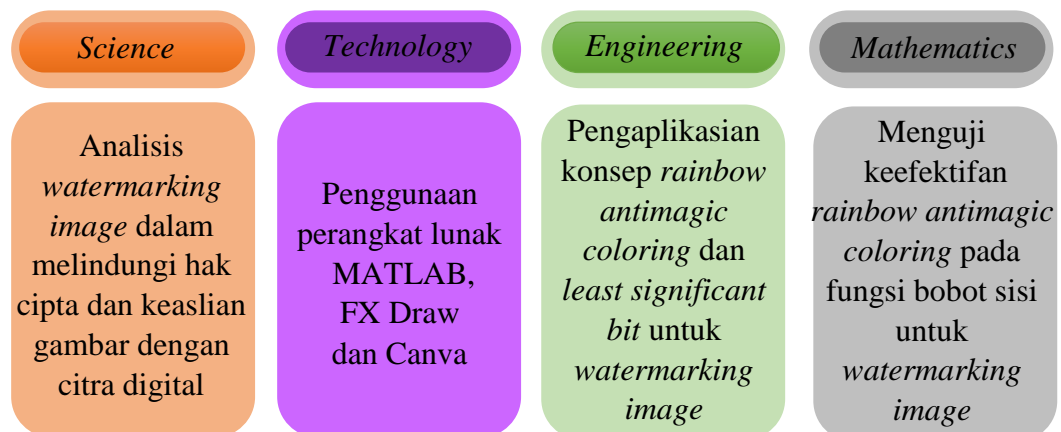
## BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini, akan dijelaskan secara rinci mengenai proses dan hasil perangkat RBL-STEM beserta peningkatannya terhadap *metaliteracy* mahasiswa dalam menyelesaikan masalah *watermarking image* menggunakan *rainbow antimagic coloring*.

### 4.1 Kerangka Aktivitas RBL-STEM

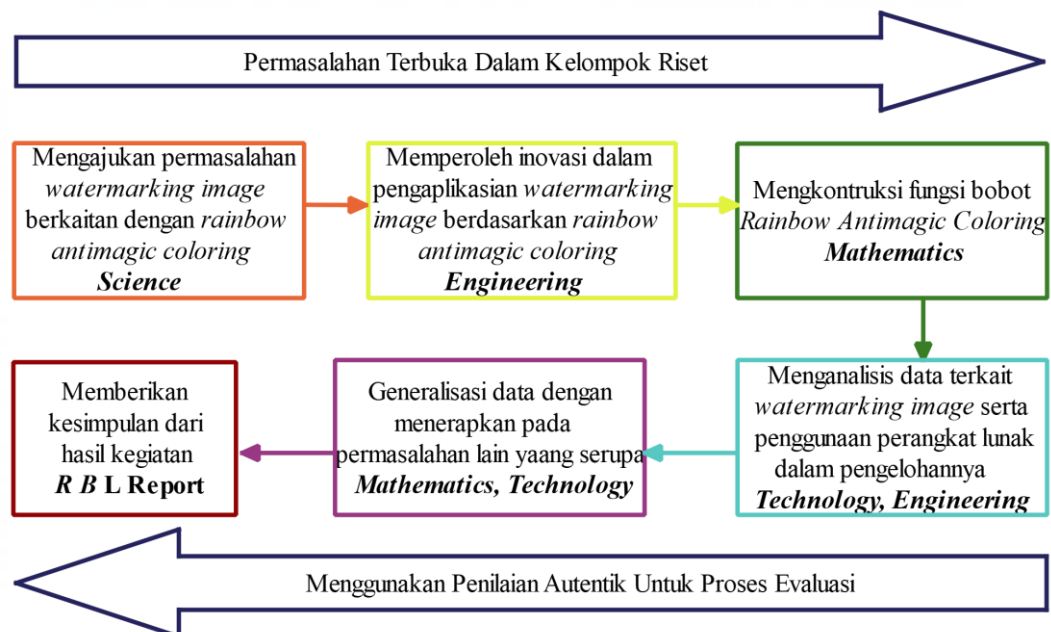
Model RBL-STEM ini menuntut mahasiswa untuk lebih aktif dalam pembelajaran melalui riset. Pada tahap awal sintaks *research-based learning*, permasalahan muncul dari kelompok riset yang berfokus pada masalah terbuka. Peneliti mempertimbangkan masalah pada *watermarking image* seperti terdapat pada Gambar 4.1 berikut.

Permasalahan utama dalam penyebaran gambar digital adalah kemudahan konten disalin, dimanipulasi, atau digunakan tanpa izin, yang dapat merugikan pemilik aslinya. Salah satu metode yang digunakan adalah *watermarking*, di mana teknik *Least Significant Bit (LSB)* diterapkan untuk menyisipkan tanda kepemilikan pada bit-bit terkecil dari gambar. Setiap bit diberi bobot unik dari graf yang menggunakan konsep *rainbow antimagic coloring* sehingga jumlah warna atau bobot pada tetangga bit selalu berbeda. Hal ini membuat *watermark* sulit dideteksi atau dihilangkan secara manual, karena pola penyisipan *watermark* menjadi lebih kompleks dan tidak mudah diprediksi, melindungi hak cipta dan menjaga keaslian konten tanpa mengurangi kualitas visual gambar.



Gambar 4. 1 Unsur-unsur STEM pada Skema *Watermarking Image*

Penelitian ini bertujuan untuk menyelesaikan masalah *watermarking image* menggunakan *rainbow antimagic coloring*. Oleh karena itu model RBL-STEM memiliki kerangka aktivitas sebagai berikut, 1) tahap pertama yang harus dilakukan mahasiswa adalah memahami riset terdahulu yang berkaitan dengan *watermarking image* menggunakan *rainbow antimagic coloring*, 2) memperoleh inovasi dalam pengaplikasian *watermarking image* berdasarkan *rainbow antimagic coloring*, 3) mengkontruksi fungsi bobot *rainbow antimagic coloring*, 4) menganalisis data terkait *watermarking image* serta penggunaan perangkat lunak dalam pengolahannya, 5) generalisasi data dengan menerapkan pada permasalahan lain yang serupa, 6) memberikan kesimpulan dari hasil kegiatan dengan mempresentasikan hasil yang didapatkan terkait penyelesaian permasalahan *watermarking image* menggunakan bobot sisi dari konsep *rainbow antimagic coloring*.



Gambar 4. 2 Kerangka Aktivitas RBL-STEM pada Permasalahan RAC

a. Unsur *Science*

*Watermarking image* adalah salah satu implementasi teknologi digital yang bertujuan melindungi hak cipta dan keaslian citra digital. Teknologi ini menggunakan prinsip ilmiah untuk menyematkan *rainbow antimagic coloring* (*watermark*) secara tersembunyi dalam gambar digital tanpa merusak kualitas

visualnya. Prinsip utama yang digunakan adalah menjaga agar *watermark* tidak terlihat oleh mata manusia dan memastikan *watermark* tetap dapat dikenali meskipun gambar mengalami manipulasi seperti kompresi, rotasi, atau *noise*.

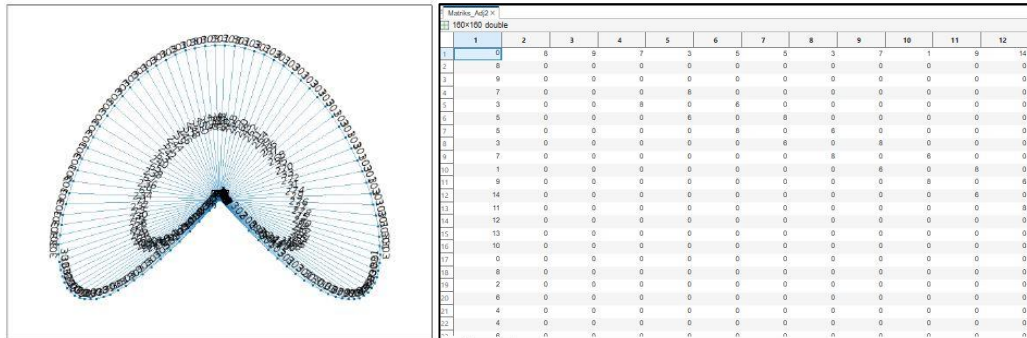
Proses *watermarking* dimulai dengan analisis struktur data citra digital seperti membaca nilai piksel pada setiap channel warna RGB atau *Grayscale* untuk menentukan lokasi optimal penyisipan *watermark*. Selanjutnya algoritma khusus digunakan untuk menyisipkan *watermark*, seperti algoritma kriptografi tradisional yaitu *Advanced Encryption Standard* (AES) dan *Data Encryption Standard* (DES) atau teori graf. Pendekatan inovatif diterapkan dalam penelitian ini dengan menggunakan *Rainbow Antimagic Coloring* (RAC) dalam *Least Significant Bit* (LSB), di mana pewarnaan graf secara unik menciptakan pola *watermark* yang sulit dipalsukan. Hal ini tidak hanya meningkatkan keamanan data tetapi juga memungkinkan identifikasi *watermark* secara cepat dan akurat.

Penentuan algoritma *watermark* yang optimal menjadi faktor penting dalam proses ini, di mana algoritma harus mampu menyeimbangkan antara keamanan data dan kualitas citra. Penelitian ini mengintegrasikan *rainbow antimagic coloring* pada teori graf sebagai pendekatan inovatif untuk menghasilkan *watermark* yang unik dan aman. Visualisasi serta validasi keaslian gambar dilakukan menggunakan metrik seperti *Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR) dan *Structural Similarity Index* (SSIM) untuk memastikan integritas data tetap terjaga. *Watermarking* tidak hanya mampu melindungi hak cipta, tetapi juga berperan penting dalam menjaga kepercayaan terhadap penggunaan citra digital di berbagai bidang.

#### b. Unsur *Technology*

Penggunaan teknologi dalam penyelesaian permasalahan *watermarking image* ini dapat menggunakan *software* MATLAB. Proses *watermarking image* ini dimulai dengan mengubah representasi graf menjadi matriks *adjacency* dengan MATLAB *programming* untuk proses *encoding* dan *decoding*. Matriks *adjacency* diperoleh dari graf Amal( $Kt_n, x, m$ ) yang telah dibuktikan dengan konsep *rainbow antimagic coloring* melalui fungsi bobot sisi. Penelitian ini menggunakan bobot

sisi dari graf amal( $Kt_n, x, m$ ). Matriks *adjacency* yang digunakan dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Graf di MATLAB dan Matriks *Adjacency*

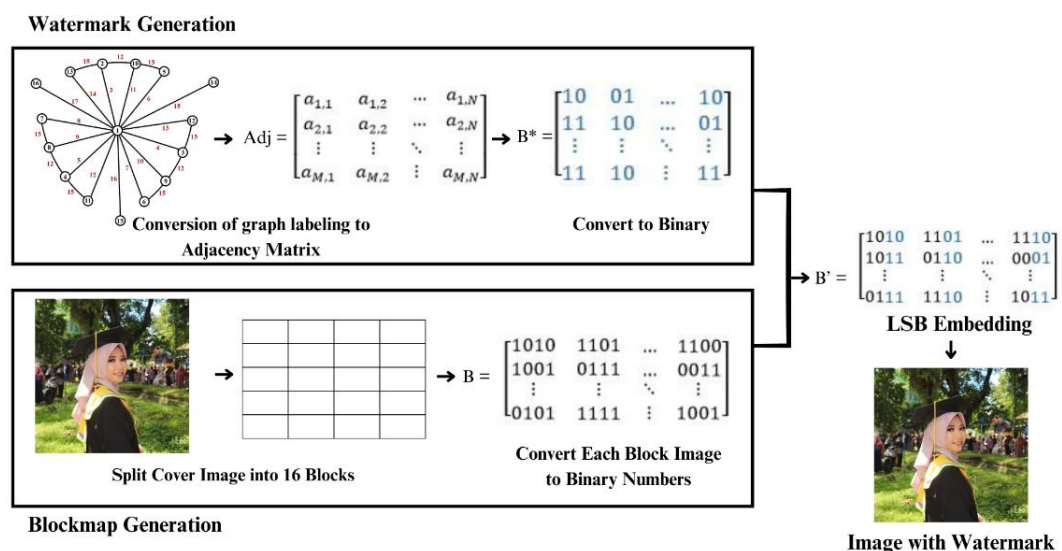
Selanjutnya matriks *adjacency* digunakan untuk proses *encoding* yaitu menyisipkan bit pada gambar digital. Penelitian ini menggunakan citra wajah sebagai data dalam rangka membuktikan efektivitas *rainbow antimagic coloring* dalam keamanan citra berbasis teori graf. Citra yang akan digunakan menggunakan citra wajah yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 dalam format potret dengan ukuran asli  $640 \times 640$  piksel. Watermark citra ini menggunakan dua matriks yaitu matriks *adjacency* pada graf dan matriks dari piksel-piksel citra.



Gambar 4. 4 Gambar Uji Indi

Proses *watermarking* pada citra dapat dilihat di Gambar 4.5 dengan mengombinasikan metode *Least Significant Bit (LSB)* dan *Rainbow Antimagic Coloring (RAC)* terdiri dari beberapa tahapan yang terstruktur. Pertama, dilakukan persiapan citra asli dan *watermark*. Citra asli (*cover image*) adalah citra digital yang akan disisipi *watermark*, yang dapat berbentuk *grayscale* atau RGB, sementara *watermark* disiapkan dalam bentuk *array* biner yang didapatkan dari matriks *adjacency* dari graf yang akan disisipkan ke dalam citra asli. Tahap berikutnya

adalah proses penyisipan *watermark* dengan metode LSB. Pada tahap ini, citra asli dan *watermark* dikonversi ke dalam bentuk biner. Setiap piksel pada citra asli direpresentasikan dengan nilai biner, dan *bit watermark* disisipkan ke dalam bit paling tidak signifikan dari nilai biner tersebut. Contohnya, jika nilai biner sebuah piksel adalah 10110010 dan bit *watermark* adalah 1, maka setelah proses penyisipan, nilai biner piksel tersebut menjadi 10110011. Proses ini dilakukan berulang untuk setiap piksel yang dipilih, sehingga *watermark* dapat tersebar merata dalam citra.



Gambar 4. 5 *Framework Image Authentication*

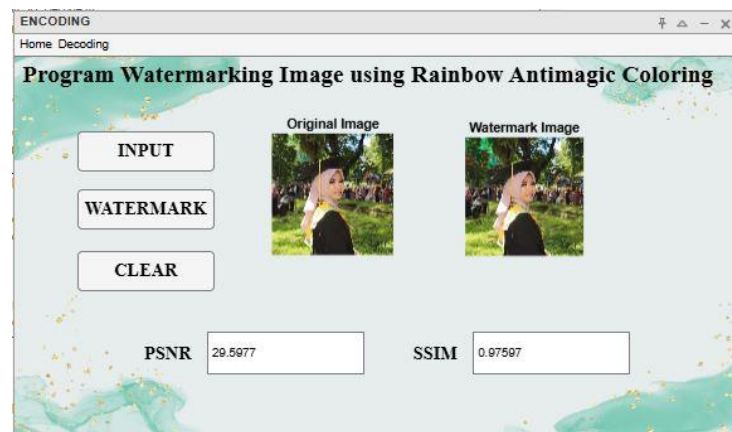
Langkah selanjutnya adalah merekonstruksi citra yang sudah disisipi *watermark*. Proses rekonstruksi memastikan bahwa *integritas visual* citra asli tetap terjaga, karena LSB hanya memodifikasi bit paling tidak signifikan yang tidak tampak oleh mata manusia. Setelah citra *watermark* dihasilkan, kualitas visual citra dinilai menggunakan metrik *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR) dan *Structural Similarity Index Measure* (SSIM). Nilai PSNR yang tinggi menandakan bahwa watermarking tidak menyebabkan distorsi yang signifikan, sementara SSIM memastikan bahwa struktur dan detail citra tetap utuh.

Proses *watermarking* gambar dengan MATLAB menggunakan metode *Rainbow Antimagic Coloring + Least Significant Bit* diimplementasikan melalui sebuah *Graphical User Interface* (GUI) yang interaktif. Dalam GUI ini, terdapat beberapa menu utama yaitu *home*, *encoding*, dan *decoding*. Menu *home* dapat

dilihat pada Gambar 4.6, menu ini berfungsi sebagai halaman utama untuk *navigasi* antara fungsi-fungsi utama. *Encoding* digunakan untuk menyisipkan *watermark* ke dalam citra. Sementara itu, *decoding* digunakan untuk proses *autentikasi*, yakni mengidentifikasi dan mengekstraksi *watermark* dari citra. *Implementasi* pada GUI dilakukan agar proses *watermarking* dan *autentikasi* menjadi lebih mudah diakses, *intuitif*, serta dapat digunakan oleh pengguna tanpa perlu memahami detail teknis pemrograman MATLAB secara mendalam. Berikut hasil dari *encoding* dapat dilihat pada Gambar 4.7



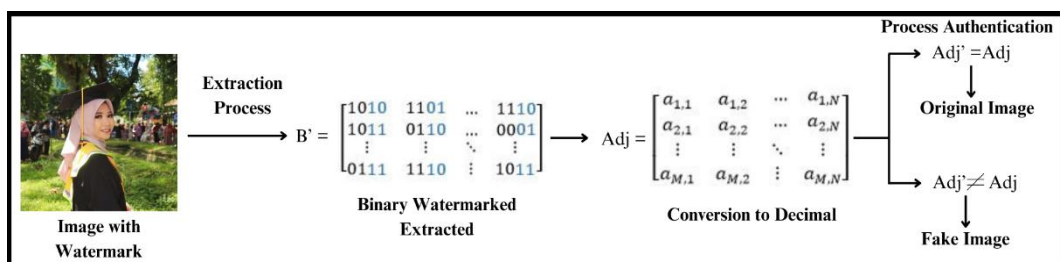
Gambar 4. 6 Menu *Home* di GUI *Watermarking Image*



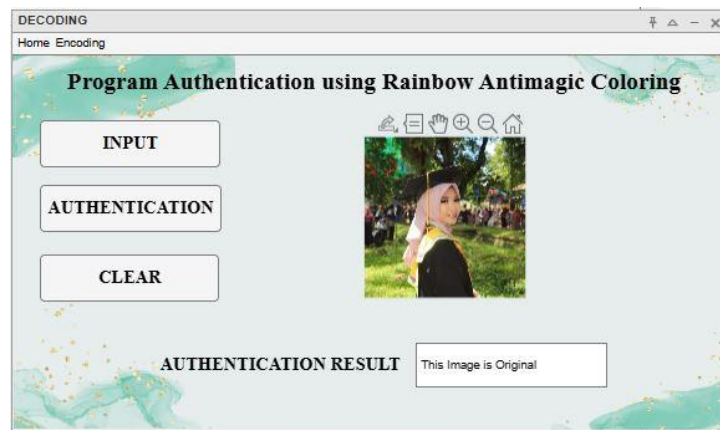
Gambar 4. 7 Hasil Proses *Encoding* di MATLAB

Selanjutnya proses *encoding* dengan melakukan ekstraksi *watermark* dapat dilihat pada Gambar 4.8. Pertama, *watermark* yang disisipkan melalui LSB diekstraksi kembali dengan membaca bit paling tidak signifikan dari setiap piksel dalam citra *watermarked*. Kedua, *watermark* yang tersembunyi dalam struktur graf diekstraksi dengan memanfaatkan kombinasi warna dan label pada graf hasil RAC.

Dengan demikian, *watermark* dapat direkonstruksi secara akurat. Kombinasi metode LSB dan RAC menghasilkan proses *watermarking* yang lebih aman dan efisien. LSB menyediakan teknik penyisipan yang cepat dan sederhana, sementara RAC menambah lapisan keamanan dengan kompleksitas teori graf. Kedua metode ini saling melengkapi, memberikan perlindungan *watermark* yang optimal tanpa mengorbankan kualitas visual citra. Hasil dari *decoding* dapat dilihat pada Gambar 4.9.



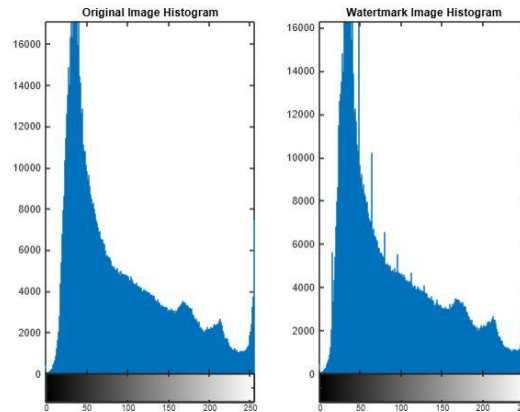
Gambar 4. 8 *Framework Ekstrak Watermark*



Gambar 4. 9 Hasil Proses *Decoding* di MATLAB

Dalam proses *watermarking* gambar, *histogram* digunakan sebagai alat visual untuk membandingkan distribusi intensitas piksel antara gambar asli dan gambar yang diberi *watermark*. *Histogram* menunjukkan sebaran dari nilai *intensitas piksel pada gambar*, yang berguna untuk melihat apakah ada perubahan yang signifikan setelah proses *watermarking* dilakukan. Selain menggunakan metrik *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR) dan *Structural Similarity Index Measure* (SSIM) untuk mengukur kualitas visual gambar, *histogram* mendukung hasil dari kedua metrik tersebut dengan memberikan tambahan berupa tampilan visual dari

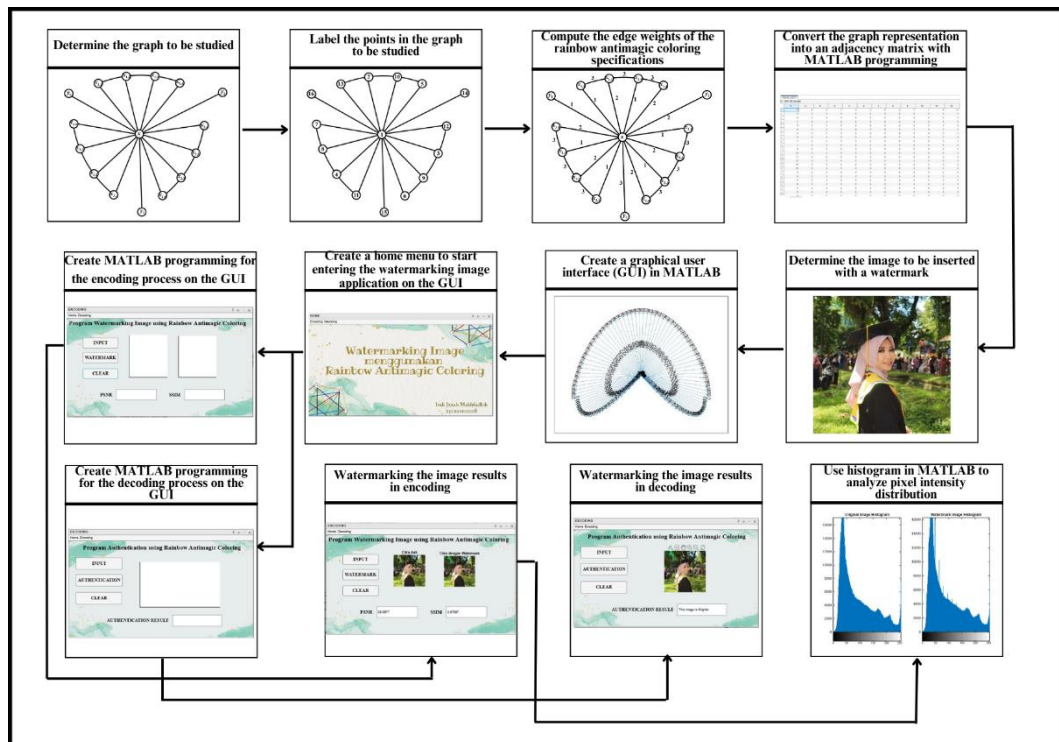
distribusi piksel. Dengan menggunakan MATLAB, *histogram* dari gambar asli dan gambar dibandingkan untuk menganalisis sebaran intensitas piksel.



Gambar 4. 10 *Histogram Original Image dan Watermarking Image*

#### c. Unsur *Engineering*

Teknik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan mengenai *watermarking image* dengan menggunakan konsep RAC, dengan menyisipkan nilai bobot sisi dalam proses LSB. Untuk penggunaan konsep tersebut diperlukan 12 tahap, yaitu 1) menentukan graf yang akan diteliti, 2) beri label titik pada graf yang diteliti, 3) hitung bobot sisi dari label titik yang saling terhubung dan sesuaikan dengan ketentuan RAC, 4) mengubah representasi graf menjadi matriks *adjacency* dengan MATLAB *programming* untuk proses *encoding* dan *decoding*, 5) menentukan gambar yang akan disisipkan *watermark*, 6) membuat *Graphical User Interface* (GUI) di MATLAB untuk proses *watermarking image* agar dapat digunakan dengan gambar yang lain. 7) membuat menu *home* untuk awal masuk aplikasi *watermarking image* pada GUI di MATLAB, 8) membuat MATLAB *programming* untuk proses *encoding* pada GUI, 9) membuat MATLAB *programming* untuk proses *decoding* pada GUI, 10) hasil *watermarking image* pada *encoding* berupa berupa gambar yang telah disisipkan *watermark*, 11) hasil *watermarking image* pada *decoding* untuk melihat apakah gambar itu palsu atau asli, 12) menganalisis sebaran intensitas piksel dengan menggunakan *histogram* di MATLAB. Ilustrasi alur *prototype* disajikan pada Gambar 4.11 sebagai berikut.

Gambar 4. 11 *Prototype Watermarking Image*

#### d. Unsur *Mathematics*

Unsur matematika yang digunakan dalam penyelesaian permasalahan *watermarking image* adalah bobot sisi pada graf dengan konsep *rainbow antimagic coloring* untuk penyisipan bit pada proses *least significant bit*. Penelitian ini menggunakan graf amal  $(Kt_n, x, m)$  sebagai dasar dalam proses *Least Significant Bit* (LSB) dengan topik *Rainbow Antimagic Coloring* (RAC). Hasil dari penelitian ini adalah sebuah teorema yang dilengkapi dengan pembuktiannya. Dalam pembuktian tersebut, bobot sisi pada graf digunakan untuk proses LSB. Berikut hasil teorema beserta pembuktian dari graf amal  $(Kt_n, x, m)$ :

**Teorema.** Misalkan  $Amal(Kt_n, x, m)$  adalah graf hasil operasi amalgamasi titik dari graf kipas tangkai, *Rainbow antimagic connection number* dari  $Amal(Kt_n, x, m)$  adalah  $mn + m$  dengan  $n \geq 2$  dan  $m \geq 2$ .

**Bukti:** Graf  $Amal(Kt_n, x, m)$  memiliki himpunan titik  $V(Amal(Kt_n, x, m)) = \{x\} \cup \{x_{i,j}; 1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n\} \cup \{y_i; 1 \leq i \leq m\}$  dan himpunan sisi  $E(Amal(Kt_n, x, m)) = \{xy_i; 1 \leq i \leq m\} \cup \{xx_{i,j}; 1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n\} \cup$

$\{x_{i,j}x_{i,j+1}; 1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n-1\}$ . Kardinalitas dari himpunan titik dan himpunan sisi pada graf  $Amal(Kt_n, x, m)$  berturut-turut adalah  $|V(Amal(Kt_n, x, m))| = m(n+1) + 1$  dan  $|E(Amal(Kt_n, x, m))| = 2mn$ . Kemudian akan dibuktikan  $rac(Amal(Kt_n, x, m)) = mn + m$  menggunakan batas bawah dan batas atas yaitu  $rac(Amal(Kt_n, x, m)) \geq mn + m$  dan  $rac(Amal(Kt_n, x, m)) \leq mn + m$ .

Pertama akan dibuktikan batas bawah dari graf  $Amal(Kt_n, x, m)$  dengan  $n \geq 2$  dan  $m \geq 2$ ,  $rac(Amal(Kt_n, x, m)) = mn + m$ . Berdasarkan batas bawah, diketahui bahwa  $rac(G) \geq \max\{rc(G), \Delta(G)\}$ , sehingga diperoleh:

$$\begin{aligned} rac(Amal(Kt_n, x, m)) &\geq \max\{rc(Amal(Kt_n, x, m)), \Delta(Amal(Kt_n, x, m))\} \\ &= \max\{3, mn + m\} \\ &= mn + m \end{aligned}$$

Jadi batas bawah yang didapatkan adalah  $rac(Amal(Kt_n, x, m)) \geq mn + m$ , dengan  $n \geq 2$  dan  $m \geq 2$ .

Selanjutnya akan dibuktikan batas atas dari graf  $Amal(Kt_n, x, m)$  dengan  $n \geq 2$  dan  $m \geq 2$ ,  $rac(Amal(Kt_n, x, m)) \leq mn + m$ , definisikan fungsi titik dari graf  $Amal(Kt_n, x, m)$  dengan  $f: V(Amal(Kt_n, x, m)) \rightarrow \{1, 2, \dots, |V(Amal(Kt_n, x, m))|\}$  sebagai berikut.

$$f(x) = 1$$

$$f(y_i) = mn + i + 1, \text{ untuk } 1 \leq i \leq m$$

$$f(x_{i,j}) = \begin{cases} \frac{m(j-2)}{2} + i + 1, & \text{untuk } j \in \text{bil. genap}; 1 \leq i \leq m \\ \frac{m(2n-j+1)}{2} - i + 2, & \text{untuk } j \in \text{bil. ganjil}; 1 \leq i \leq m \end{cases}$$

Berdasarkan fungsi titik diatas, dapatkan bobot sisi untuk mewarnai sisinya. Sehingga diperoleh bobot sisi pada graf  $Amal(Kt_n, x, m)$  adalah sebagai berikut:

$$w(xy_i) = mn + i + 2, \text{ untuk } 1 \leq i \leq m$$

$$w(xx_{i,j}) = \begin{cases} \frac{m(j-2)}{2} + i + 2, & \text{untuk } j \in \text{bil. genap}; 1 \leq i \leq m \\ \frac{m(2n-j+1)}{2} - i + 3, & \text{untuk } j \in \text{bil. ganjil}; 1 \leq i \leq m \end{cases}$$

$$w(x_{i,j}x_{i,j+1}) = \begin{cases} \frac{m(2n-2)}{2} + 3, & \text{untuk } j \in \text{bil. genap}; 1 \leq i \leq m \\ mn + 3, & \text{untuk } j \in \text{bil. ganjil}; 1 \leq i \leq m \end{cases}$$

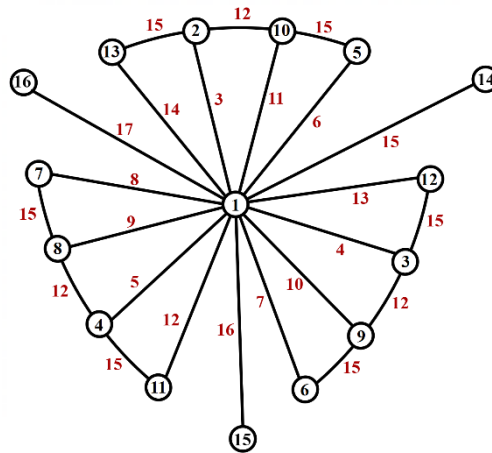
Selanjutnya menganalisis himpunan bobot sisi *rainbow antimagic coloring* pada graf  $Amal(Kt_n, x, m)$ . Misalkan  $P_1$  adalah himpunan bobot sisi dari graf  $Amal(Kt_n, x, m)$ . Maka,  $P_1 = \{3, 4, 5, 6, \dots, mn + m + 2\}$ . Kemudian mencari kardinalitas dari himpunan bobot sisi dengan barisan aritmatika. Kardinalitas himpunan bobot sisi untuk menentukan batas atas.

$$\begin{aligned} U_{|P_1|} &= a + (|P_1| - 1)d \\ mn + m + 2 &= 3 + (|P_1| - 1)1 \\ mn + m - 1 &= |P_1| - 1 \\ |P_1| &= mn + m \end{aligned}$$

Berdasarkan himpunan bobot sisi tersebut, diperoleh batas atas  $rac(Amal(Kt_n, x, m)) \leq mn + m$ . Berdasarkan batas bawah dan batas atas, diperoleh *rainbow antimagic connection number* pada graf  $(Amal(Kt_n, x, m))$  adalah  $rac(Amal(Kt_n, x, m)) = mn + m$ . Jika terdapat  $mn + m$  warna pada graf  $Amal(Kt_n, x, m)$ , *Rainbow path* dapat dibuat dengan menggunakan fungsi bobot sisi yang telah ditemukan. *Rainbow path* dari graf  $Amal(Kt_n, x, m)$  dapat dilihat pada Tabel 1. Ilustrasi dari *rainbow antimagic coloring* dari graf  $Amal(Kt_n, x, m)$  dapat dilihat di Gambar 4.12.

Tabel 4.1 *Rainbow Path* pada Graf  $Amal(Kt_n, x, m)$

Kasus	$x$	$y$	Rainbow Path
1	$x$	$y_i$	$x, y_i$
2	$x$	$x_{i,j}$	$x, x_{i,j}$
3	$y_i$	$y_j$	$y_i, x, y_j$
4	$y_i$	$x_{i,j}$	$y_i, x, x_{i,j}$
5	$x_{i,j}$	$x_{k,l}$	$x_{i,j}, x, x_{k,l}$



Gambar 4. 12 RAC Graf  $Amal(Kt_4, x, 3)$

Pada bagian ini, tahapan-tahapan model RBL-STEM akan dibahas secara rinci yang menggambarkan kegiatan mahasiswa selama proses pembelajaran. Fokus dari pembelajaran ini adalah memberikan perlindungan pada gambar digital dengan menggunakan *watermark*. Tujuannya adalah untuk meningkatkan *metaliteracy* mahasiswa menyelesaikan masalah pada *watermarking image* dengan menggunakan *rainbow antimagic coloring*.

a. Tahap Pertama (*Science*)

Kegiatan RBL-STEM pada tahap kedua yaitu mengajukan permasalahan *watermarking image* berkaitan dengan *rainbow antimagic coloring*. Perlindungan gambar digital agar terjaga keasliannya tanpa menunjukkan perubahan pada gambar dapat dilakukan dengan memberi *watermark* pada gambar. Pemberian *watermark* ini menggunakan teknik *least significant bit* dengan *rainbow antimagic coloring*.

Tabel 4. 2 Aktifitas Pembelajaran RBL-STEM Tahap Pertama

Tahap 1	Kegiatan Pembelajaran
Mengajukan permasalahan <i>watermarking image</i> berkaitan dengan <i>rainbow antimagic coloring</i>	<p>a. Dosen memberikan riset terdahulu mengenai masalah <i>watermarking image</i> berkaitan dengan <i>rainbow antimagic coloring</i>.</p> <p>b. Dosen memberikan gambaran permasalahan <i>watermarking image</i>, kemudian bertanya kepada mahasiswa mengenai pemahaman mereka terkait permasalahan tersebut.</p> <p>c. Mahasiswa diarahkan untuk mengidentifikasi latar belakang analisis <i>watermarking image</i> menggunakan <i>rainbow antimagic coloring</i>.</p>

b. Tahap Kedua (*Engineering*)

Kegiatan RBL-STEM pada tahap kedua yaitu mengembangkan inovasi terkait penggunaan *rainbow antimagic coloring* untuk meningkatkan keterampilan *metaliteracy* mahasiswa pada permasalahan *watermarking image*.

Tabel 4. 3 Aktifitas Pembelajaran RBL-STEM Tahap Kedua

<b>Tahap 2</b>	<b>Kegiatan Pembelajaran</b>
Memperoleh inovasi dalam pengaplikasian <i>watermarking image</i> berdasarkan <i>rainbow antimagic coloring</i>	<p>a. Dosen membimbing mahasiswa dalam mendiskusikan solusi untuk menyelesaikan permasalahan yang diberikan dengan menggunakan <i>rainbow antimagic coloring</i> dan <i>least significant bit</i>.</p> <p>b. Dosen memberikan gambaran <i>watermarking image</i>. Kemudian bertanya kepada mahasiswa mengenai pemahamannya terhadap permasalahan yang diajukan.</p> <p>c. Mahasiswa diarahkan untuk mencatat informasi terkait permasalahan yang disampaikan.</p>

c. Tahap Ketiga (*Mathematics*)

Kegiatan RBL-STEM pada tahap ketiga adalah mengkontruksi fungsi bobot *rainbow antimagic coloring*. Pada tahap ini menggunakan graf dengan konsep *rainbow antimagic coloring* untuk digunakan dalam proses *watermarking image*.

Tabel 4. 4 Aktifitas Pembelajaran RBL-STEM Tahap Ketiga

<b>Tahap 3</b>	<b>Kegiatan Pembelajaran</b>
Mengkontruksi fungsi bobot <i>rainbow antimagic coloring</i>	<p>a. Mahasiswa diarahkan untuk mengidentifikasi himpunan titik dan sisi, serta kardinalitas titik dan sisi pada graf yang akan digunakan.</p> <p>b. Mahasiswa diarahkan untuk melakukan pelabelan titik antiajaib dengan memberikan label titik pada graf dengan bilangan bulat positif hingga banyaknya titik pada graf tersebut.</p> <p>c. Mahasiswa diarahkan untuk menghitung bobot sisi dengan menjumlahkan label dari dua titik yang saling terhubung.</p> <p>d. Mahasiswa diarahkan untuk menelaah bahwa setiap dua titik pada graf memiliki minimal satu lintasan pelangi dengan warna berbeda yang berasal dari bobot sisi.</p> <p>e. Mahasiswa menyusun teorema berdasarkan observasi yang telah dilakukan.</p>

d. Tahap Keempat (*Technology, Engineering*)

Kegiatan RBL-STEM pada tahap keempat adalah menganalisis data terkait *watermarking image* serta penggunaan perangkat lunak dalam pengolahannya.

Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini yaitu MATLAB untuk membantu menyelesaikan permasalahan.

Tabel 4. 5 Aktifitas Pembelajaran RBL-STEM Tahap Keempat

<b>Tahap 4</b>	<b>Kegiatan Pembelajaran</b>
Menganalisis data terkait <i>watermarking image</i> penggunaan perangkat lunak dalam pengolahannya	<ol style="list-style-type: none"> <li>Mahasiswa diarahkan untuk membuat gambar digital berupa tanda tangan dan menggunakan <i>software</i> MATLAB untuk mencari nilai piksel dari gambar tersebut dengan bentuk jadi Matriks A.</li> <li>Mahasiswa diarahkan untuk membuat matriks <i>adjacency</i> dari graf yang digunakan dinamakan Matriks B.</li> <li>Mahasiswa diarahkan untuk menggunakan <i>software</i> MATLAB mengubah bilangan desimal ke bilangan biner dari Matriks A dan B.</li> <li>Mahasiswa diarahkan untuk melakukan proses <i>least significant bit</i> dengan merubah setengah angka dari Matriks A diganti dengan matriks B hasilnya dinamakan Matriks C.</li> <li>Mahasiswa diarahkan untuk menggunakan <i>software</i> MATLAB untuk mengubah angka biner menjadi desimal dari Matriks C</li> </ol>

e. Tahap Kelima (*Mathematics, Technology*)

Kegiatan RBL-STEM pada tahap kelima adalah generalisasi data dengan menerapkan pada permasalahan lain yang serupa.

Tabel 4. 6 Aktifitas Pembelajaran RBL-STEM Tahap Kelima

<b>Tahap 5</b>	<b>Kegiatan Pembelajaran</b>
Generalisasi data dengan menerapkan pada permasalahan lain yang serupa	<ol style="list-style-type: none"> <li>Mahasiswa diarahkan untuk mencari teorema dan pembuktiannya dari graf lain dengan topik <i>rainbow antimagic coloring</i> serta membuat matriks <i>adjacency</i> dari graf tersebut dinamakan Matriks B.</li> <li>Mahasiswa diarahkan untuk membuat gambar digital lain dan <i>software</i> MATLAB untuk mencari nilai piksel dari gambar tersebut dengan bentuk jadi Matriks A.</li> <li>Mahasiswa diarahkan untuk menggunakan <i>software</i> MATLAB mengubah bilangan desimal ke bilangan biner dari Matriks A dan B.</li> <li>Mahasiswa diarahkan untuk melakukan proses <i>least significant bit</i> dengan merubah setengah angka dari Matriks A diganti dengan matriks B hasilnya dinamakan Matriks C.</li> <li>Mahasiswa diarahkan untuk menggunakan <i>software</i> MATLAB untuk mengubah angka biner menjadi desimal dari Matriks C</li> </ol>

f. Tahap Keenam

Kegiatan RBL-STEM pada tahap keenam adalah memberikan kesimpulan dari hasil kegiatan dengan mempresentasikan hasil yang didapatkan terkait penyelesaian permasalahan *watermarking image* menggunakan bobot sisi dari konsep *rainbow antimagic coloring*.

Tabel 4. 7 Aktifitas Pembelajaran RBL-STEM Tahap Keenam

Tahap 6	Kegiatan Pembelajaran
Memberikan kesimpulan dari hasil kegiatan	<p>a. Mahasiswa diarahkan untuk membuat laporan tentang penyelesaian permasalahan <i>watermarking image</i> menggunakan <i>rainbow antimagic coloring</i>.</p> <p>b. Mahasiswa diarahkan untuk melakukan presentasi mengenai laporan yang dibuat.</p> <p>c. Dosen mengevaluasi dan memberikan penguatan mengenai pemahaman mahasiswa yang didapatkan dari proses penelitian yang telah dilakukan.</p> <p>d. Dosen melakukan observasi terhadap <i>metaliteracy</i> mahasiswa menggunakan lembar observasi.</p>

## 4.2 Proses dan Hasil Pengembangan Perangkat RBL-STEM

Dengan menggunakan konsep *rainbow antimagic coloring*, proses dan hasil pengembangan perangkat RBL-STEM ini digunakan untuk mengetahui tingkat *metaliteracy* mahasiswa. Instrumen yang dibuat termasuk Rencana Pembelajaran Semester (RPS), Rancangan Tugas Mahasiswa (RTM), Lembar Kerja Mahasiswa (LKM), dan Tes Hasil Belajar (THB). Sebagai bagian model Thiagarajan (4D), proses pengembangan ini terdiri dari tahap pendefinisian (*define*), perancangan (*design*), pengembangan (*develop*), dan penyebaran (*disseminate*).

### 4.2.1 Tahap Pendefinisian ( $D_1$ )

Tujuan dari tahap pendefinisian ini adalah untuk menetapkan dan mendefinisikan kebutuhan pembelajaran dengan menganalisis tujuan dan batasan materi yang akan diberikan. Tahap pendefinisian dibagi menjadi empat tahap, yaitu sebagai berikut.

#### ( $D_{1a}$ ) Analisis Awal-akhir

Analisis awal-akhir dilakukan untuk mengidentifikasi permasalahan yang dihadapi mahasiswa dalam pembelajaran, khususnya terkait pemahaman konsep

*rainbow antimagic coloring* sebagai dasar pengembangan perangkat pembelajaran. Proses analisis ini bertujuan untuk memastikan perangkat yang dikembangkan mampu menjadi solusi atas kendala yang dialami mahasiswa dalam memahami konsep dan penerapannya dalam konteks nyata. Selain itu, perangkat pembelajaran dirancang untuk mengintegrasikan teknologi guna membantu mahasiswa menyelesaikan masalah dalam penerapan pada *watermarking image*.

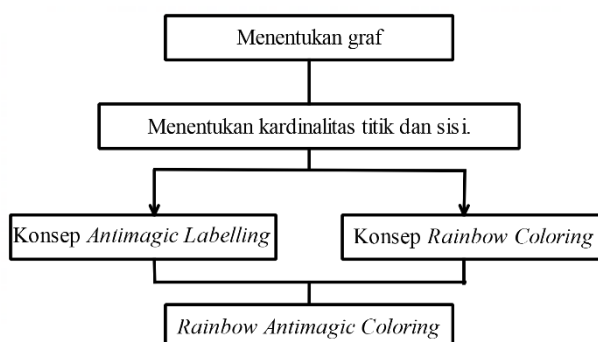
Topik *rainbow antimagic coloring* dipilih karena merupakan kombinasi antara *antimagic labeling* dan *rainbow coloring* sehingga menjadi bidang kajian baru yang relevan. Mahasiswa diharapkan dapat memperluas wawasan dan dapat dijadikan referensi menyusun tugas akhir yang berkualitas melalui pembelajaran terkait topik ini. Penyelesaian permasalahan ini menuntut mahasiswa untuk aktif dalam mencari, mengolah data, serta memformulasikan teorema baru menggunakan topik *rainbow antimagic coloring*. Berdasarkan hasil analisis awal-akhir, penelitian ini mengembangkan perangkat pembelajaran berbasis *Research-Based Learning* (RBL) dan STEM untuk meningkatkan *metaliteracy* mahasiswa. Perangkat ini dirancang agar mahasiswa lebih terampil dalam menyelesaikan masalah *watermarking image* menggunakan konsep *rainbow antimagic coloring*, sekaligus meningkatkan kemampuan mereka dalam *metaliteracy*, berpikir kritis, dan pemecahan masalah berbasis teknologi.

#### (D<sub>1b</sub>) Analisis Mahasiswa

Analisis mahasiswa dilakukan untuk memperoleh data mengenai karakteristik mahasiswa S1 Pendidikan Matematika Universitas Jember. Mahasiswa diharapkan terlibat aktif dalam proses pembelajaran dan mampu bekerja sama dalam kelompok. Mahasiswa kelas B semester 5 pada mata kuliah Aplikasi Graf diketahui mengalami kesulitan dalam memahami konsep *Rainbow Antimagic Coloring* (RAC). Sebagian mahasiswa yang umumnya aktif cenderung menjadi lebih antusias jika pembelajaran didukung dengan perangkat berupa Lembar Kerja Mahasiswa (LKM) berbasis riset yang dirancang secara menarik dan relevan, mengaitkan konsep RAC dengan penerapannya pada permasalahan dunia nyata.

(D<sub>1c</sub>) Analisis Konsep

Proses ini dilakukan untuk mengidentifikasi, merinci, dan menyusun secara sistematis mengenai konsep yang dipelajari oleh mahasiswa pada konsep *rainbow antimagic coloring*. Berdasarkan analisis awal-akhir dan analisis mahasiswa yang telah dilakukan, Analisis konsep yang dilakukan menghasilkan peta konsep seperti pada Gambar 4.13 berikut.



Gambar 4. 13 Peta Konsep Topik *Rainbow Antimagic Coloring*

(D<sub>1d</sub>) Analisis Tugas

Analisis tugas bertujuan untuk mengidentifikasi keterampilan utama yang diperlukan dalam pembelajaran yang sesuai dengan kurikulum. Tujuan dari kegiatan ini adalah mengidentifikasi *metaliteracy* mahasiswa sesuai dengan kemampuan akhir yang diharapkan, diantaranya sebagai berikut:

- a. Mahasiswa mampu mengidentifikasi permasalahan terkait konsep *rainbow antimagic coloring*.
- b. Mahasiswa mampu mengurai informasi dari permasalahan terkait *rainbow antimagic coloring*.
- c. Mahasiswa mampu menentukan langkah penyelesaian permasalahan terkait konsep *rainbow antimagic coloring*.
- d. Mahasiswa mampu menerapkan langkah-langkah dalam menyelesaikan permasalahan terkait konsep *rainbow antimagic coloring* pada graf sederhana.
- e. Mahasiswa mampu menemukan pola *rainbow antimagic coloring* pada suatu graf.
- f. Mahasiswa mampu membuat makna dari solusi yang ditemukan serta mampu membuat generalisasi berdasarkan penyelesaian permasalahan sejenis sebelumnya.

#### 4.2.2 Tahap Perancangan ( $D_2$ )

Tahap perancangan bertujuan untuk merancang perangkat pembelajaran yang akan digunakan sehingga diperoleh desain awal. Pada tahap ini dilakukan perancangan perangkat RBL-STEM untuk mengetahui pengaruh perangkat pembelajaran terhadap peningkatan *metaliteracy* mahasiswa terhadap konsep *rainbow antimagic coloring*. Terdapat empat langkah pada tahap ini yaitu sebagai berikut.

##### ( $D_{2a}$ ) Penyusunan Tes

Penyusunan tes dilakukan berdasarkan indikator pembelajaran yang telah ditetapkan. Tes yang disusun dalam penelitian ini berbentuk uraian yang memuat STEM dan terkait dengan konsep *rainbow antimagic coloring* dan *watermarking image* untuk menjaga keaslian gambar digital dengan memberi *watermark* pada gambar.

##### ( $D_{2b}$ ) Pemilihan Media

Proses pemilihan media disesuaikan dengan analisis mahasiswa, analisis konsep, dan analisis tugas sebelumnya. Media yang dipilih antara lain power point sebagai media penyampaian materi *rainbow antimagic coloring* yang dapat mendukung pemahaman mahasiswa dan LKM RBL-STEM yang memuat indikator-indikator *metaliteracy*.

##### ( $D_{2c}$ ) Pemilihan Format

Pemilihan format dalam pengembangan perangkat pembelajaran bertujuan untuk merumuskan dan menentukan rancangan model, pendekatan, dan sumber pembelajaran yang akan digunakan. Penelitian ini menggunakan model pembelajaran yaitu *research-based learning* dan pendekatan STEM dengan tahapan-tahapan pembelajaran yang ada didalamnya dipilih sebagai format pembelajaran.

##### ( $D_{2d}$ ) Perancangan Awal

Perancangan awal merupakan seluruh rancangan perangkat pembelajaran yang harus dikerjakan sebelum dilakukan uji coba. Adapun perangkat pembelajaran berupa Rencana Pembelajaran Semester (RPS), Rancangan Tugas Mahasiswa (RTM), Lembar Kerja Mahasiswa (LKM) dan Tes Hasil Belajar (THB).

a. Rencana Pembelajaran Semester (RPS)

Rencana pembelajaran semester ini disusun dengan salah satu Sub-CPMK menggunakan *research-based learning* dan salah satu pokok bahasan tentang *rainbow antimagic coloring*. Pokok bahasan *rainbow antimagic coloring* membutuhkan maksimal 4 pertemuan yang dialokasikan pada pertemuan minggu ke-4 dan 7 dengan RTM-1 yaitu lembar kerja mahasiswa RBL-STEM.

b. Rancangan Tugas Mahasiswa (RTM)

Rancangan tugas mahasiswa ini disusun dengan topik *rainbow antimagic coloring* dengan model RBL-STEM. Pengerjaan tugas terkait *rainbow antimagic coloring* dengan mengisi bagian-bagian rumpang pada lembar kerja mahasiswa, yang diakhiri dengan presentasi hasil mini riset pada lembar kerja mahasiswa.

c. Lembar Kerja Mahasiswa (LKM).

Lembar kerja mahasiswa berisikan permasalahan STEM yaitu *watermarking image* dengan melindungi gambar digital agar terjaga keasliannya.

d. Tes Hasil Belajar (THB)

Tes hasil belajar untuk mahasiswa yang dilakukan pada penelitian ini adalah *pretest* dan *posttest*, yang disusun dengan materi mengenai *watermarking image* dan *rainbow antimagic coloring*. Hasil tes ini digunakan dengan tujuan untuk mengukur *metaliteracy* mahasiswa.



Gambar 4. 14 Desain Awal RPS, RTM, LKM, THB

#### 4.2.3 Tahap Pengembangan (D<sub>3</sub>)

Setiap perangkat yang dibuat pada tahap pengembangan divalidasi oleh validator dan direvisi sesuai dengan rekomendasi. Setelah perangkat dinyatakan valid, diadakan uji coba pada mata kuliah Aplikasi Graf kelas B Program Studi

Pendidikan Matematika Universitas Jember. Hasil dari tahapan pengembangan ini adalah sebagai berikut.

( $D_{3a}$ ) Uji Validitas

Revisi dan perbaikan perangkat pembelajaran yang dikembangkan dilakukan berdasarkan penilaian serta saran dari dua validator. Berdasarkan evaluasi kedua validator, perangkat layak digunakan dengan sedikit perubahan. Semua saran dari kedua validator digunakan untuk merevisi perangkat pembelajaran untuk memastikan bahwa perangkat yang dikembangkan layak digunakan dalam pembelajaran.

Tabel 4. 8 Rekapitulasi Validasi Perangkat RBL-STEM

Hasil Validasi	Rata-rata	Presentase
Rancangan Tugas Mahasiswa (RTM)	3,76	94%
Lembar Kerja Mahasiswa (LKM)	3,83	95,83%
Tes Hasil Belajar (THB)	3,85	96,25%
Lembar Observasi Aktivitas Mahasiswa	3,82	95,42%
Lembar Keterlaksanaan RBL-STEM	3,83	95,83%
Angket Respon Mahasiswa	3,83	95,83%
<b>Skor rata-rata keseluruhan</b>	<b>3,82</b>	<b>95,5%</b>

Berdasarkan hasil rekapitulasi validasi perangkat dan instrumen RBL-STEM pada Tabel 4.8, hasil skor rata-rata validasi adalah 3,82 dengan persentase 95,5%. Berdasarkan kriteria kevalidan, perangkat pembelajaran yang disusun memenuhi kriteria valid dikarenakan memenuhi skor  $3,82 \leq V_a < 4$ .

( $D_{3b}$ ) Uji Coba Perangkat RBL-STEM

Perangkat yang telah direvisi dan divalidasi tersebut diuji cobakan pada mahasiswa. Uji coba ini dilakukan pada kelas yang terdiri dari 40 mahasiswa. Uji coba diawasi oleh observer. Delapan observer adalah mahasiswa Magister Pendidikan Matematika FKIP Universitas Jember. Penilaian yang melibatkan evaluasi observer dan hasil kerja mahasiswa dimanfaatkan untuk mengevaluasi kepraktisan serta keefektifan perangkat. Pada uji coba pembelajaran, peneliti langsung memimpin kegiatan di kelas dengan izin dari dosen pengampu yang memberikan waktu perkuliahan untuk pelaksanaan tersebut.

Peneliti mulai membuka kuliah dengan pengerjaan *pretest* selama 25 menit. Setelah mahasiswa mengerjakan *pretest*, maka dilanjutkan dengan kegiatan inti yang mengimplementasikan RBL-STEM. Mahasiswa dibagi menjadi kelompok-

kelompok kecil beranggotakan 5 orang. Pengerjaan LKM dimulai dengan mahasiswa menuliskan nama-nama anggota kelompok. Mahasiswa dapat membaca kembali CPMK, sub-CPMK, petunjuk pelaksanaan, petunjuk pengerjaan, dan penjelasan item dalam LKM. Sebagai kegiatan *metaliteracy*, mahasiswa diminta untuk mencermati riset terdahulu yang telah disediakan oleh peneliti dalam QR-code pada LKM. Kemudian mahasiswa diminta untuk mengamati masalah mengenai *watermarking image* yang penyelesaiannya berkaitan dengan RAC dan LSB sebagai bentuk tahapan pertama RBL-STEM yang berorientasi pada sains (*science*).

Setelah membaca teks berjudul "Apa itu *Watermarking Image*?" yang disediakan dalam LKM, mahasiswa diminta memahami isi bacaan tersebut untuk merancang inovasi dalam menyelesaikan masalah. Tahap ini merupakan langkah kedua yang berorientasi pada teknik (*engineering*). Mahasiswa didorong untuk saling memberikan tanggapan mengenai berbagai solusi dengan bimbingan peneliti pada saat pembelajaran berlangsung untuk melatih *metaliteracy* mahasiswa. Lanjut Tahap ketiga yaitu mahasiswa melakukan pengumpulan data dengan pengimplemetasian konsep RAC, dimana mahasiswa diminta untuk mengkontruksi fungsi bobot *rainbow antimagic coloring*. Kegiatan pada tahap ketiga ini berorientasi pada matematika (*mathematics*).

Tahap keempat adalah menganalisis data terkait *watermarking image* dengan mengkombinasikan konsep RAC dan teknik LSB serta penggunaan perangkat lunak MATLAB dalam pengolahannya. Kegiatan pada tahap keempat ini berorientasi pada teknik dan teknologi (*engineering, technology*). Selanjutnya pada tahap kelima, mahasiswa diminta untuk menggeneralisasi atau menerapkan RAC pada graf lainnya dengan permasalahan yang serupa. Tahap kelima merupakan tahapan yang berorientasi matematika dan teknologi (*mathematics, technology*). Tahap keenam, sekaligus tahap terakhir dari RBL-STEM adalah presentasi kelompok. Tahap ini dilaksanakan dengan perwakilan setiap kelompok memaparkan hasil yang telah mereka peroleh dari kegiatan generalisasi sebelumnya. Setelah seluruh tahapan RBL-STEM selesai dilaksanakan, pembelajaran dilanjutkan ke kegiatan penutup.

Data yang diperoleh selama uji coba antara lain observasi keterlaksanaan perangkat pembelajaran, observasi aktivitas mahasiswa, tes hasil belajar, dan angket respon mahasiswa. Data tersebut digunakan untuk menganalisis kepraktisan dan keefektifan perangkat pembelajaran. Hasil analisis ini akan menjadi dasar pertimbangan untuk merevisi perangkat hingga menghasilkan draft akhir yang siap digunakan pada tahap penyebaran.

( $D_{3c}$ ) Uji Kepraktisan

Uji kepraktisan perangkat pembelajaran terdiri dari 2 indikator, yaitu dengan menganalisis hasil keterlaksanaan pembelajaran di kelas dan hasil angket respon mahasiswa. Hasil dan analisis kepraktisan perangkat pembelajaran dijelaskan sebagai berikut.

a. Hasil keterlaksanaan pembelajaran di kelas

Analisis keterlaksanaan pembelajaran berdasarkan lembar observasi keterlaksanaan RBL-STEM yang dinilai oleh 8 observer. Berdasarkan rata-rata skor hasil observasi keterlaksanaan pembelajaran secara keseluruhan adalah 3,91 dengan persentase 97,71%. Selain itu, komentar dari observer mayoritas berisi komentar positif, sehingga tidak mengubah total perangkat pembelajaran. Berdasarkan kriteria kepraktisan, perangkat pembelajaran yang disusun memenuhi kriteria praktis sangat tinggi dikarenakan memenuhi skor  $90\% \leq SR \leq 100\%$ .

b. Hasil angket respon mahasiswa

Lembar angket respon mahasiswa dibagikan dalam bentuk hardfile. Terdapat 40 mahasiswa yang mengisi angket. Berdasarkan respon mahasiswa dalam lembar angket, rekapitulasi skor hasil respon mahasiswa disajikan pada Tabel 4.9. Secara keseluruhan, persentase positif rata-rata adalah 92,85%.

Tabel 4. 9 Rekap Data Hasil Angket Respon Mahasiswa

<b>Aspek yang Dinilai</b>	<b>Presentase</b>
Kesenangan terhadap komponen pembelajaran	96,88%
Kemampuan <i>metaliteracy</i> mahasiswa merasa terlatih	87,81%
Komponen pembelajaran dirasa baru	89,38%
Mahasiswa memahami dengan jelas bahasa yang digunakan	91,88%
Mahasiswa mengerti maksud setiap soal yang disajikan	93,13%
Mahasiswa tertarik dengan penampilan (tulisan dan gambar)	91,25%
Mahasiswa berminat mengikuti pembelajaran	95%
Mahasiswa merasa senang berdiskusi dengan anggota kelompok	97,5%
<b>Skor rata-rata keseluruhan aspek</b>	<b>92,85%</b>

Hasil analisis keterlaksanaan pembelajaran berdasarkan lembar observasi keterlaksanaan RBL-STEM telah memenuhi kriteria praktis dan mendapat nilai positif. Hasil Analisis lembar angket respon mahasiswa juga mendapat respon positif dari mahasiswa. Berdasarkan hasil analisis dari 2 indikator kepraktisan perangkat pembelajaran tersebut sehingga perangkat ini praktis digunakan.

#### (D<sub>3d</sub>) Uji Keefektifan

Uji keefektifan perangkat pembelajaran terdiri dari 2 indikator, yaitu dengan menganalisis hasil belajar mahasiswa dan hasil observasi aktivitas mahasiswa. Hasil dan analisis keefektifan perangkat pembelajaran dijelaskan sebagai berikut.

##### a. Hasil belajar mahasiswa

Hasil belajar mahasiswa didapat melalui *posttest* yang dilaksanakan pada Kamis, 10 Oktober 2024. Subjek penelitian sebanyak 40 mahasiswa. Berdasarkan hasil *posttest* didapatkan bahwa sebanyak 35 mahasiswa (88%) memiliki nilai diatas ketuntasan minimum yang berarti tuntas secara klasikal. Dalam hal ini, satu syarat untuk menilai efektifitas suatu perangkat pembelajaran telah terpenuhi.

##### b. Hasil observasi aktivitas mahasiswa

Observasi yang digunakan adalah observasi pendahuluan, kegiatan inti, dan penutup. Analisis aktivitas mahasiswa berdasarkan lembar observasi aktivitas mahasiswa yang dinilai oleh 8 observer. Hasil rekapitulasi skor dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4. 10 Rekapitulasi Hasil Observasi Aktivitas Mahasiswa

Aspek yang Dinilai	Rata-rata	Persentase
Pendahuluan	4	100%
Kegiatan inti	3,61	90,31%
Penutup	4	100%
<b>Skor rata-rata keseluruhan aspek</b>	<b>3,87</b>	<b>96,77%</b>

Berdasarkan Tabel 4.10, rata-rata skor hasil observasi aktivitas mahasiswa secara keseluruhan adalah 3,87 dengan persentase 96,77%. Selain itu, komentar dari observer mayoritas berisi komentar positif, sehingga tidak mengubah total perangkat pembelajaran. Berdasarkan kriteria keefektifan, perangkat pembelajaran yang disusun memenuhi kriteria efektif sangat aktif dikarenakan memenuhi skor  $90\% \leq P \leq 100\%$ .

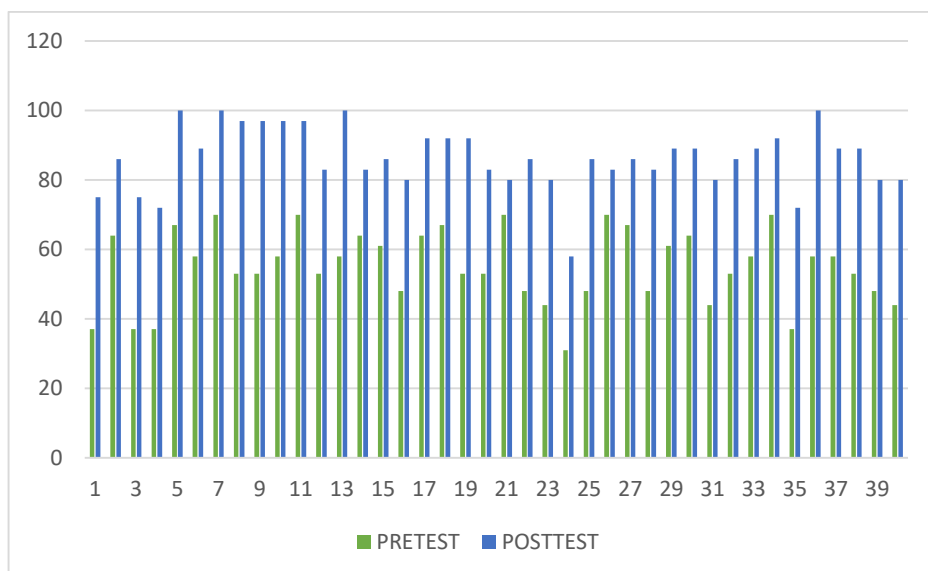
#### 4.2.4 Tahap Penyebaran (D<sub>4</sub>)

Tahap terakhir adalah tahap penyebaran yang menerapkan penggunaan perangkat pembelajaran yang telah dikembangkan pada skala yang lebih luas, seperti di kelas yang belum diuji coba atau pada program studi dengan mata kuliah sejenis. Tujuannya adalah untuk mengetahui apakah perangkat yang telah dikembangkan berfungsi dengan baik dalam kegiatan pembelajaran.

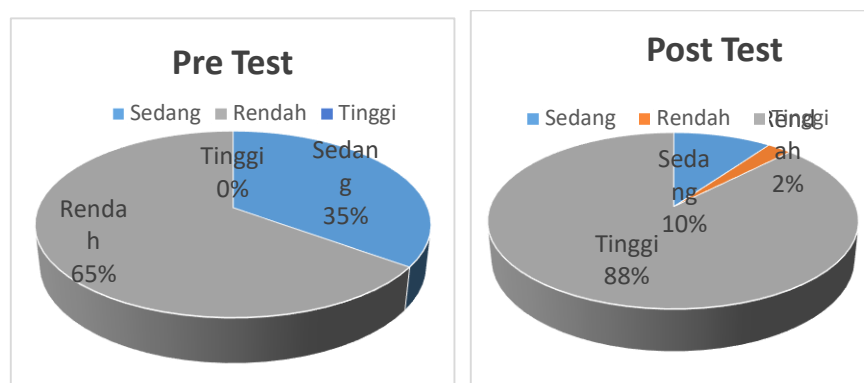
### 4.3 Analisis Peningkatan Metaliteracy Mahasiswa

#### 4.3.1 Analisis Data Kuantitatif

Berikut disajikan grafik sebaran nilai hasil *pretest* dan *posttest* mahasiswa dapat dilihat pada Gambar 4.15. Sedangkan Gambar 4.16 menunjukkan persentase level *metaliteracy* mahasiswa.



Gambar 4. 15 Grafik sebaran nilai *pretest* dan *posttest*



Gambar 4. 16 Persentase level *metaliteracy* mahasiswa

Pada hasil *pretest*, mahasiswa yang dikategorikan dengan *metaliteracy* mahasiswa tidak ada yang tingkat tinggi, mahasiswa dengan keterampilan literasi tingkat sedang sebesar 35%, dan mahasiswa dengan *metaliteracy* tingkat rendah sebesar 65%. Sedangkan pada hasil *posttest*, mahasiswa yang dikategorikan dengan *metaliteracy* tingkat tinggi mencapai 88%, mahasiswa dengan *metaliteracy* tingkat sedang menurun menjadi 10%, dan mahasiswa dengan keterampilan *metaliteracy* tingkat rendah menjadi 2%. Selanjutnya, dilakukan uji normalitas sebagai syarat agar dapat dilakukan *paired sample t-test*. Uji statistik ini dilakukan menggunakan *software SPSS*.

Tabel 4. 11 Hasil Uji Normalitas

	Tests of Normality					
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Pretest	.111	40	.200*	.947	40	.058
Posttest	.115	40	.195*	.946	40	.057

Berdasarkan hasil uji normalitas data pada Tabel 4.11 menunjukkan bahwa nilai *pretest* dan *posttest* berdistribusi normal dikarenakan nilai signifikansi (*Sig.*) > 0,05. Dilanjutkan dengan *paired sample T-test* yang disajikan pada Tabel 4.12 berikut.

Tabel 4. 12 Statistik pada Sampel Berpasangan

		Paired Samples Statistics			
		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	Pretest	54.98	40	10.760	1.701
	Posttest	86.33	40	8.974	1.419

Hasil uji pada Tabel 4.12 yaitu rata-rata nilai *posttest* lebih tinggi daripada rata-rata nilai *pretest*. Rata-rata nilai *pretest* sebesar 54,98 lalu meningkat menjadi 86,33 pada rata-rata nilai *posttest*. Dapat diketahui pula bahwa banyak data yang dimasukkan pada *pretest* dan *posttest* yaitu sebanyak 40 data.

Tabel 4. 13 Korelasi pada Sampel Berpasangan

		Paired Samples Correlations		
		N	Correlation	Sig.
Pair 1	Pretest & Posttest	40	.693	.000

Hasil uji pada Tabel 4.13 dengan banyak data sebanyak 40 yaitu nilai korelasi *pretest* dan *posttest* sebesar 0,000 > 0,05. Hal ini menunjukkan bahwa korelasi

atau hubungan antara dua rata-rata hasil *pretest* dan *posttest* adalah kuat dan signifikan.

Tabel 4. 14 Hasil *Paired Sample T Test*  
**Paired Samples Test**

	Paired Differences	t	df	Sig. (2-tailed)	95% Confidence Interval of the Difference			
					Mean	Std. Deviation	Lower	Upper
					Mean	Std. Error		
Pai r 1 Pretest - Posttest	-31.350	7.899	1.249	-33.876	-28.824	-25.103	39	.000

Hasil uji pada Tabel 4.14 yaitu probabilitas atau nilai Sig. (2-tailed) sama dengan  $0,000 < 0,05$ . Kesimpulannya, terdapat perbedaan nilai sebelum dan sesudah dilakukan pembelajaran menggunakan perangkat RBL-STEM terhadap *metaliteracy* mahasiswa.

#### 4.3.1 Analisis Data Kualitatif

Tahap analisis data kualitatif pada penelitian ini berperan sebagai penguat dari hasil penelitian kuantitatif, selain itu juga untuk membuktikan, memperdalam, dan memperluas data kuantitatif yang telah diperoleh. Penelitian ini dikuatkan dengan *triangulasi* data yang meliputi *potret fase*, *N-Vivo*, dan *word cloud*.

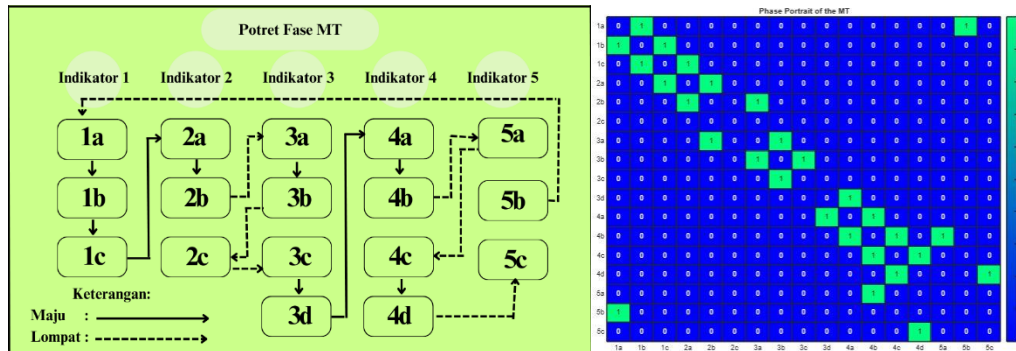
##### a. Potret fase

Potret fase menggambarkan alur berpikir seseorang yang divisualisasikan atau direpresentasikan melalui sebuah diagram berbentuk graf. Potret ini dihasilkan berdasarkan pemilihan indikator dari kartu potret fase mahasiswa. Representasi dalam bentuk graf bertujuan untuk mempermudah analisis alur berpikir mahasiswa, terutama yang berkaitan dengan *metaliteracy* mahasiswa.



Gambar 4. 17 Kartu Potret Fase *Metaliteracy* Mahasiswa1) Mahasiswa Katagori *Metaliteracy* Tinggi (MT)

Hasil wawancara mendalam dengan mahasiswa subjek MT direpresentasikan dalam alur potret fase. Gambar 4.18 menunjukkan alur berpikir *metaliteracy* mahasiswa subjek MT.

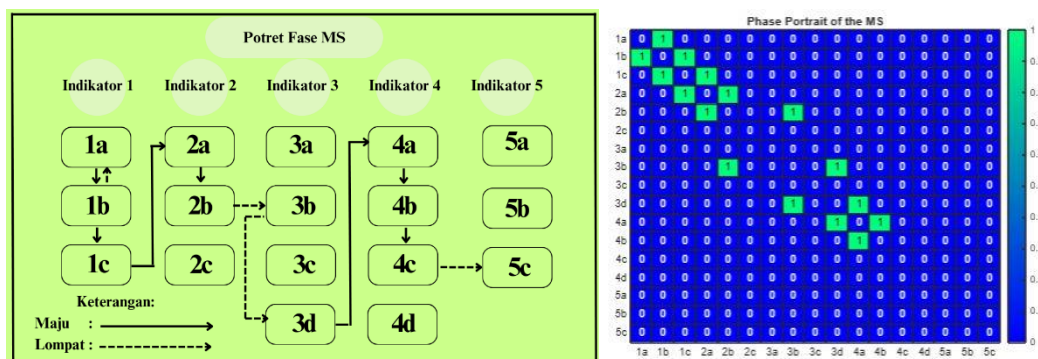
Gambar 4. 18 Diagram Potret Fase MT dan Matriks *Adjacency*

Dengan mempertimbangkan diagram alur berpikir, kita dapat menemukan bahwa derajat total untuk setiap titik adalah  $d(1a) = 2, d(1b) = 2, d(1c) = 2, d(2a) = 2, d(2b) = 2, d(2c) = 2, d(3a) = 2, d(3b) = 2, d(3c) = 2, d(3d) = 2, d(4a) = 2, d(4b) = 2, d(4c) = 2, d(4d) = 2, d(5a) = 2, d(5b) = 1, d(5c) = 1$ . Hal ini menunjukkan mahasiswa memenuhi 17 sub indikator. Analisis *Total Depth* (TD), *Mean Depth* (MD), dan *Relative Asymmetry* (RA) dilakukan untuk menentukan seberapa baik *metaliteracy* mahasiswa MT dari perspektif konfigurasi alur.

Hasil distribusi nilai yang disajikan pada Lampiran 32 Gambar 1, dapat disimpulkan bahwa indikator yang memiliki nilai TD paling rendah adalah sub indikator 1a yaitu 73, artinya sub indikator 1a sangat dibutuhkan mahasiswa MT untuk menyelesaikan permasalahan. Nilai RA terkecil terjadi pada sub indikator 1a yaitu 0,475 yang berada pada interval  $0 \leq RA \leq 1$ , artinya nilai tersebut mempunyai nilai integrity yang tinggi sehingga dikategorikan sebagai yang baik. Nilai RRA terkecil juga terjadi pada sub indikator 1a yaitu 1,53668655 yang berarti memiliki nilai integrity yang tinggi pada konfigurasi ruang tersebut.

## 2) Mahasiswa Katagori *Metaliteracy* Sedang (MS)

Hasil wawancara mendalam dengan mahasiswa subjek MS direpresentasikan dalam alur potret fase. Gambar 4.19 menunjukkan alur berpikir *metaliteracy* mahasiswa subjek MS.



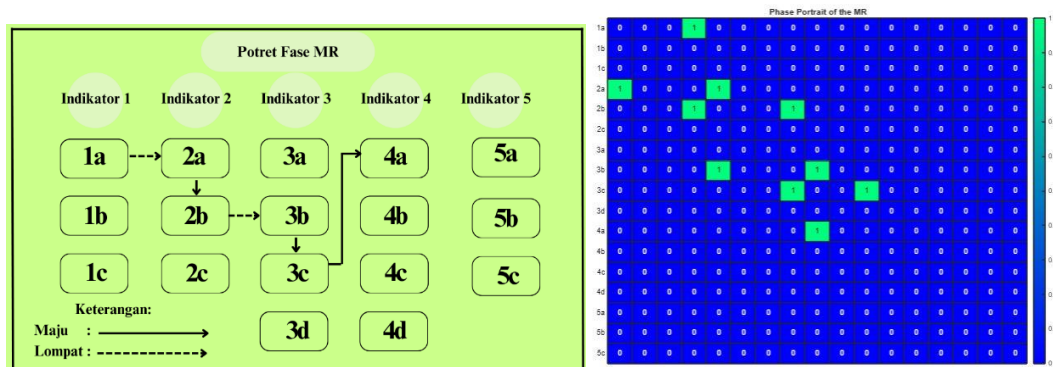
Gambar 4. 19 Diagram Potret Fase MS dan Matriks *Adjacency*

Dengan mempertimbangkan diagram alur berpikir, kita dapat menemukan bahwa derajat total untuk setiap titik adalah  $d(1a) = 2, d(1b) = 3, d(1c) = 2, d(2a) = 2, d(2b) = 2, d(3b) = 2, d(3d) = 2, d(4a) = 2, d(4b) = 2, d(4c) = 2, d(5c) = 1$ . Hal ini menunjukkan mahasiswa memenuhi 11 sub indikator. Analisis *Total Depth* (TD), *Mean Depth* (MD), dan *Relative Asymmetry* (RA) dilakukan untuk menentukan seberapa baik *metaliteracy* mahasiswa MS dari perspektif konfigurasi alur.

Hasil distribusi nilai yang disajikan pada Lampiran 32 Gambar 2, dapat disimpulkan bahwa indikator yang memiliki nilai TD paling rendah adalah sub indikator 3b yaitu 30, artinya sub indikator 3b sangat dibutuhkan mahasiswa MS untuk menyelesaikan permasalahan. Nilai RA terkecil terjadi pada sub indikator 3b yaitu 0,44444444 yang berada pada interval  $0 \leq RA \leq 1$ , artinya nilai tersebut mempunyai nilai integrity yang tinggi sehingga dikategorikan sebagai yang baik. Nilai RRA terkecil juga terjadi pada sub indikator 3b yaitu 1,29174995 yang berarti memiliki nilai integrity yang tinggi pada konfigurasi ruang tersebut.

## 3) Mahasiswa Katagori *Metaliteracy* Rendah (MR)

Hasil wawancara mendalam dengan mahasiswa subjek MR direpresentasikan dalam alur potret fase. Gambar 4.20 menunjukkan alur berpikir metaliteracy mahasiswa subjek MR.



Gambar 4. 20 Diagram Potret Fase MR dan Matriks *Adjacency*

Dengan mempertimbangkan diagram alur berpikir, kita dapat menemukan bahwa derajat total untuk setiap titik adalah  $d(1a) = 1, d(2a) = 2, d(2b) = 2, d(3b) = 2, d(3c) = 2, d(4a) = 1$ . Hal ini menunjukkan mahasiswa memenuhi 6 sub indikator. Analisis Total Depth (TD), Mean Depth (MD), dan Relative Asymmetry (RA) dilakukan untuk menentukan seberapa baik metaliteracy mahasiswa MS dari perspektif konfigurasi alur.

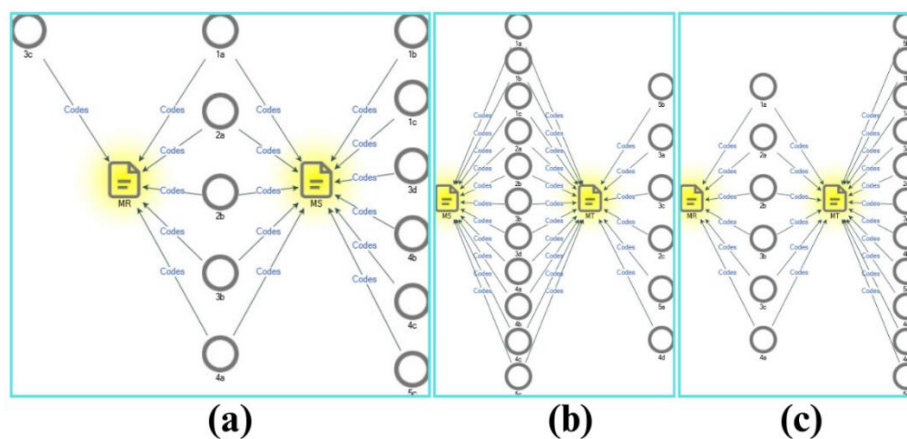
Hasil distribusi nilai yang disajikan pada Lampiran 32 Gambar 3, dapat disimpulkan bahwa indikator yang memiliki nilai TD paling rendah adalah sub indikator 2b dan 3b yaitu 9, artinya sub indikator 2b dan 3b sangat dibutuhkan mahasiswa MR untuk menyelesaikan permasalahan. Nilai RA terkecil terjadi pada sub indikator 2b dan 3b yaitu 0,4 yang berada pada interval  $0 \leq RA \leq 1$ , artinya nilai tersebut mempunyai nilai integrity yang tinggi sehingga dikategorikan sebagai yang baik. Nilai RRA terkecil juga terjadi pada sub indikator 2b dan 3b yaitu 1,08197636 yang berarti memiliki nilai *integrity* yang tinggi pada konfigurasi ruang tersebut.

#### b. N-Vivo

N-Vivo merupakan singkatan dari NUD\*IS dan Vivo, adalah perangkat lunak yang dirancang untuk mendukung pengembangan dan pengelolaan proyek analisis data kualitatif. Perangkat ini memfasilitasi pengkodean data secara efisien untuk berbagai jenis analisis termasuk tematik, isi, komparatif, serta hubungan

asosiatif, satu arah, dan simetris. Data penelitian dapat diolah menggunakan peta proyek dan diagram perbandingan.

Pada bagian berikutnya, keterampilan *metaliteracy* mahasiswa dibandingkan dalam dua kategori. Untuk membandingkan dua jenis elemen analisis proyek, seperti sumber data, node, atau kasus, N-Vivo menyediakan fitur diagram perbandingan. Fitur ini memudahkan identifikasi kesamaan dan perbedaan antar elemen proyek, serta membantu menemukan pola penting yang mungkin terabaikan jika hanya menggunakan analisis tekstual konvensional. Ilustrasi dari diagram perbandingan dapat dilihat pada Gambar 4.21.

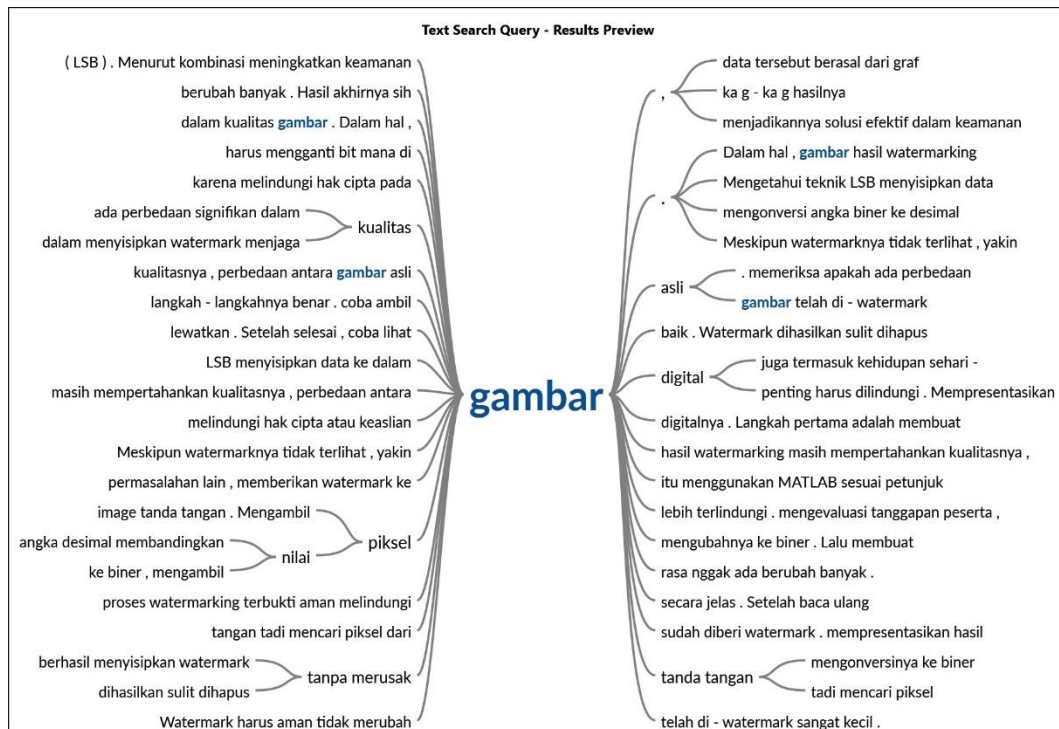


Gambar 4. 21 (a) Perbandingan MR dan MS, (b) Perbandingan MS dan MT, (c) Perbandingan MR dan MT

Dalam perbandingan MR dan MS pada Gambar 4.21 (a) menunjukkan bahwa mahasiswa MR hanya memenuhi 6 sub indikator, dimana 5 diantaranya juga merupakan sub indikator yang dimiliki mahasiswa MS yang memenuhi 11 sub indikator. Sedangkan perbandingan pada Gambar 4.21 (b) menunjukkan bahwa mahasiswa MS yang memenuhi 11 sub indikator, 11 diantaranya juga merupakan sub indikator yang dimiliki mahasiswa MT yang memenuhi 17 sub indikator. Terakhir, perbandingan MR dan MT pada Gambar 4.21 (c) menunjukkan bahwa mahasiswa MR yang hanya memenuhi 6 sub indikator, memiliki 6 sub indikator yang sama dengan mahasiswa MT yang memenuhi 17 sub indikator.

Grafis peta proyek yang menggabungkan nodes dari subindikator akan ditampilkan selanjutnya. Peta ini dirancang untuk menggambarkan serta memperlihatkan hubungan antar berbagai subindikator. Peta proyek berbentuk





Gambar 4. 24 Pohon kata dari kata “Gambar”

#### 4.4 Pembahasan

Perangkat pembelajaran yang dikembangkan adalah perangkat RBL-STEM untuk meningkatkan *metaliteracy* mahasiswa dalam menyelesaikan masalah *watermarking image* menggunakan RAC. Perangkat yang telah dikembangkan telah divalidasi oleh dua validator dan diujicobakan pada kelas B mata kuliah Aplikasi Graf, Program Studi Pendidikan Matematika Universitas Jember. Hasil analisis perangkat ini memenuhi kriteria kevalidan, kepraktisan, dan keefektifan. Hasil skor rata-rata validasi adalah 3,82 dengan persentase 95,5%. Berdasarkan kriteria kevalidan, perangkat pembelajaran yang disusun memenuhi kriteria valid dikarenakan memenuhi skor  $3,82 \leq V_a < 4$ .

Berdasarkan kriteria kepraktisan, perangkat pembelajaran yang disusun memenuhi kriteria praktis sangat tinggi dikarenakan memenuhi skor  $90\% \leq SR \leq 100\%$ . Berdasarkan hasil *posttest* didapatkan bahwa sebanyak 35 mahasiswa (87,5%) memiliki nilai diatas ketuntasan minimum yang berarti tuntas secara klasikal. Ratarata skor hasil observasi aktivitas mahasiswa secara keseluruhan adalah 3,87 dengan persentase 96,77%. Berdasarkan kriteria keefektifan, perangkat

pembelajaran yang disusun memenuhi kriteria efektif sangat tinggi dikarenakan memenuhi skor  $90\% \leq P \leq 100\%$  . Ini menunjukkan bahwa perangkat pembelajaran telah efektif karena kedua persyaratan perangkat efektif tersebut terpenuhi.

Pada hasil *pretest*, mahasiswa yang dikategorikan dengan metaliteracy mahasiswa tidak ada yang tingkat tinggi, mahasiswa dengan keterampilan literasi tingkat sedang sebesar 35%, dan mahasiswa dengan metaliteracy tingkat rendah sebesar 65%. Sedangkan pada hasil *posttest*, mahasiswa yang dikategorikan dengan metaliteracy tingkat tinggi mencapai 88%, mahasiswa dengan metaliteracy tingkat sedang menurun menjadi 10%, dan mahasiswa dengan keterampilan metaliteracy tingkat rendah menjadi 2%.

Berdasarkan hasil uji normalitas data, menunjukkan bahwa nilai *pretest* dan *posttest* berdistribusi normal dikarenakan nilai signifikansi (*Sig.*)  $> 0,05$  . Dilanjutkan dengan *paired sample T-test*, hasil uji yaitu rata-rata nilai *posttest* lebih tinggi daripada rata-rata nilai *pretest*. Rata-rata nilai *pretest* sebesar 54,98 lalu meningkat menjadi 86,33 pada rata-rata nilai *posttest*. Hasil uji dengan banyak data sebanyak 40 yaitu nilai korelasi *pretest* dan *posttest* sebesar  $0,693 > 0,05$ . Hal ini menunjukkan bahwa korelasi atau hubungan antara dua rata-rata hasil *pretest* dan *posttest* adalah kuat dan signifikan. Hasil uji selanjutnya yaitu probabilitas atau nilai *Sig.* (2-tailed) sama dengan  $0,000 < 0,05$ . Kesimpulannya, terdapat perbedaan nilai sebelum dan sesudah dilakukan pembelajaran menggunakan perangkat RBL-STEM terhadap *metaliteracy* mahasiswa.

Pada analisis kualitatif, digunakan metode triangulasi data seperti potret fase, NVivo, dan *word cloud*. Potret fase memberikan informasi bahwa subjek MT memenuhi 17 sub indikator, subjek MS memenuhi 11 sub indikator, dan subjek MR memenuhi 6 sub indikator. Dalam perbandingan MR dan MS pada NVivo menunjukkan bahwa mahasiswa MR hanya memenuhi 6 sub indikator, dimana 5 diantaranya juga merupakan sub indikator yang dimiliki mahasiswa MS yang memenuhi 11 sub indikator. Sedangkan perbandingan pada mahasiswa MS yang memenuhi 11 sub indikator, 11 diantaranya juga merupakan sub indikator yang dimiliki mahasiswa MT yang memenuhi 17 sub indikator. Terakhir, perbandingan

MS dan MT menunjukkan bahwa mahasiswa MR yang hanya memenuhi 6 sub indikator, memiliki 6 sub indikator yang sama dengan mahasiswa MT yang memenuhi 17 sub indikator. Setiap soal dan jawaban tertinggi merupakan jawaban yang sering muncul sebagai bentuk jawaban mahasiswa yang disesuaikan dengan sub indikator dan berlangsungnya proses pembelajaran. Dapat dilihat bahwa tampilan terbesar terdapat pada gambar. Selanjutnya disusul oleh *watermark*, graf dan seterusnya.

## BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan dalam pengembangan perangkat RBL-STEM untuk meningkatkan *metaliteracy* mahasiswa menyelesaikan masalah *watermarking image* menggunakan *rainbow antimagic coloring*, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

- a. Kerangka aktivitas RBL-STEM mencakup beberapa langkah, yang meliputi:
  - 1) tahap pertama yang harus dilakukan mahasiswa adalah memahami riset terdahulu yang berkaitan dengan *watermarking image* menggunakan *rainbow antimagic coloring*,
  - 2) memperoleh inovasi dalam pengaplikasian *watermarking image* berdasarkan *rainbow antimagic coloring*,
  - 3) mengkonstruksi fungsi bobot *rainbow antimagic coloring*,
  - 4) menganalisis data terkait *watermarking image* serta penggunaan perangkat lunak dalam pengolahannya,
  - 5) generalisasi data dengan menerapkan pada permasalahan lain yang serupa,
  - 6) memberikan kesimpulan dari hasil kegiatan dengan mempresentasikan hasil yang didapatkan terkait penyelesaian permasalahan *watermarking image* menggunakan bobot sisi dari konsep *rainbow antimagic coloring*.
- b. Proses pengembangan perangkat dan hasil pengembangan melibatkan beberapa tahap. Tahap pertama adalah pendefinisian, dimana dilakukan analisis awal-akhir, analisis mahasiswa, analisis konsep, dan analisis tugas. Dilanjutkan tahap kedua yaitu perancangan, dengan penyusunan tes, pemilihan media, pemilihan format, dan perancangan awal. Selanjutnya pada tahap ketiga yaitu pengembangan, dilakukan uji validitas, uji coba, uji kepraktisan, dan uji keefektifan. Tahap terakhir yaitu penyebaran, dengan menyebarluaskan kepada dosen pendidikan matematika melalui *hardfile* ataupun *softfile* dengan pemanfaatan *internet of things*.
- c. Hasil analisis data dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu analisis kuantitatif dan analisis kualitatif. Analisis kuantitatif melibatkan pengolahan data *pretest* dan

*posttest*, dimana dilakukan uji normalitas dan uji t sampel berpasangan (*paired sample t-test*). Berdasarkan uji normalitas, dapat disimpulkan bahwa nilai *pretest* dan *posttest* memiliki distribusi yang normal, karena nilai signifikansi (*Sig.*)  $> 0,05$ . Selanjutnya hasil *paired sample t-test* menunjukkan nilai *Sig.*(2-tailed) sama dengan  $0,000 < 0,05$ . Artinya, terdapat perbedaan nilai sebelum dan sesudah dilakukan pembelajaran menggunakan perangkat RBL-STEM terhadap *metaliteracy* mahasiswa. Dalam analisis kualitatif, digunakan metode triangulasi data seperti potret fase, NVivo, dan *word cloud*. Potret fase memberikan informasi bahwa subjek MT memenuhi 17 sub indikator, subjek MS memenuhi 11 sub indikator, dan subjek MR memenuhi 6 sub indikator. Dalam NVivo, data dikelompokkan menggunakan fitur diagram perbandingan dan peta proyek. Sementara itu, *word cloud* menampilkan kode soal dan jenis jawaban yang paling banyak disebut oleh mahasiswa sebagai bentuk pemahaman dalam proses pembelajaran dan *metaliteracy* terkait materi yang diajarkan.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil pengembangan perangkat RBL-STEM untuk meningkatkan *metaliteracy* mahasiswa menyelesaikan masalah terdapat beberapa saran yang bisa diberikan sebagai berikut.

- a. Bagi peneliti selanjutnya, model perangkat RBL-STEM dapat dikembangkan untuk meningkatkan *metaliteracy* atau keterampilan lainnya.
- b. Model perangkat RBL-STEM dapat dikembangkan pada topik permasalahan pada materi lainnya.
- c. Model perangkat RBL-STEM dapat dikembangkan pada skema aplikasi lainnya dan menerapkan penyelesaian masalah di dunia nyata dengan tetap menggunakan penyelesaian berbantuan teknologi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alshoura, W. H., Zainol, Z., Teh, J. Sen, Alawida, M., & Alabdulatif, A. (2021). Hybrid SVD-Based Image Watermarking Schemes: A Review. *IEEE Access*, 9, 32931–32968. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3060861>
- Aminuddin, A., & Ernawan, F. (2023). AuSR3: A new block mapping technique for image authentication and self-recovery to avoid the tamper coincidence problem. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 35(9), 101755. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2023.101755>
- Budi, H. S., Dafik, Tirta, I. M., Agustin, I. H., & Kristiana, A. I. (2021). On rainbow antimagic coloring of graphs. *Journal of Physics: Conference Series*, 1832(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1832/1/012016>
- Dafik, Sucianto, B., Irvan, M., & Rohim, M. A. (2019). The analysis of student metacognition skill in solving rainbow connection problem under the implementation of research-based learning model. *International Journal of Instruction*, 12(4), 593–610. <https://doi.org/10.29333/iji.2019.12438a>
- Faheem, Z. Bin, Ishaq, A., Rustam, F., de la Torre Díez, I., Gavilanes, D., Vergara, M. M., & Ashraf, I. (2023). Image Watermarking Using Least Significant Bit and Canny Edge Detection. *Sensors*, 23(3), 1–15. <https://doi.org/10.3390/s23031210>
- Fathoni, A. (2020). Stem : Innovation in Vocational Learning. *Jurnal Pendidikan Teknologi Dan Kejuruan*, 17(1), 33. <https://doi.org/10.23887/jptk-undiksha.v17i1.22832>
- Gita, R. S. D., Waluyo, J., Dafik, & Indrawati. (2021). On the shrimp skin chitosan STEM education research-based learning activities: Obtaining an alternative natural preservative for processed meat. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 747(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/747/1/012123>
- Hakim, R. A., Dafik, & Tirta, I. M. (2021). The study of the implementation of research-based learning model to improve the students' proving skills in dealing with the resolving efficient dominating set problem. *Journal of Physics: Conference Series*, 1836(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1836/1/012059>
- Horé, A., & Ziou, D. (2010). Image quality metrics: PSNR vs. SSIM. *Proceedings - International Conference on Pattern Recognition*, 2366–2369. <https://doi.org/10.1109/ICPR.2010.579>
- Jacobson, T. y M. T. (2015). Proposing a metaliteracy model to define information literacy. *Communications in Infromation Literacy*, 7(2), 18–22.

- Jannah, E. S. W., Dafik, D., & Kristiana, A. I. (2024). The Development of RBL-STEM Learning Materials to Improve Students' Information Literacy in Solving Rainbow Antimagic Coloring Problem for ETLE Technology. *International Journal of Current Science Research and Review*, 07(01), 155–164. <https://doi.org/10.47191/ijcsrr/v7-i1-16>
- Kristiana, A. I., Dafik, Ridlo, Z. R., Prihandini, R. M., & Adawiyah, R. (2022). Research Based Learning and STEM Learning Activities: The Use of R-Dynamic Coloring to Improve the Students Meta-literacy in Solving a Tessellation Decoration Problem. *European Journal of Education and Pedagogy*, 3(4), 52–60. <https://doi.org/10.24018/ejedu.2022.3.4.381>
- Kurniawati, E. Y., Dafik, Agustin, I. H., & Maylisa, I. N. (2022). The analysis of students metaliteracy under the implementation of RBL-STEM in solving graph rainbow antimagic coloring problems. *Journal of Physics: Conference Series*, 2157(1), 0–14. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2157/1/012040>
- Mackey, T. P. (2020). Embedding metaliteracy in the design of a post-truth mooc: Building communities of trust. *Communications in Information Literacy*, 14(2), 346–361. <https://doi.org/10.15760/comminfolit.2020.14.2.9>
- Mackey, T. P., & Jacobson, T. E. (2011). Reframing information literacy as a metaliteracy. *College and Research Libraries*, 72(1), 62–78. <https://doi.org/10.5860/crl-76r1>
- Meganingtyas, D. E. W., Jannah, E. S. W., Dafik, & Kristiana, A. I. (2024). On Rainbow Antimagic Coloring of Amalgamation of Graphs. *AIP Conference Proceedings*, 3176(1), 1543–1552. <https://doi.org/10.1063/5.0222837>
- Mursyidah, I. L. (2023). Development of RBL-STEM Learning Tools to Improve Students' Computational Thinking Skills Solving Rainbow Antimagic Coloring Problems and Their Application to Traffic Flow Problems with Spatial Temporal Graph Neural Network. *International Journal of Current Science Research and Review*, 06(01), 634–644. <https://doi.org/10.47191/ijcsrr/v6-i1-69>
- Mursyidah, I. L., Dafik, Kristiana, A. I., Agustin, I. H., Maylisa, I. N., & Alfarisi, R. (2023). *On Rainbow Antimagic Coloring of Some Classes of Graphs* (pp. 73–93). [https://doi.org/10.2991/978-94-6463-138-8\\_8](https://doi.org/10.2991/978-94-6463-138-8_8)
- Mursyidah, I. L., Kristiana, A. I., & Izza, R. (n.d.). *Rainbow Connection Number pada Graf Hasil Operasi Amalgamasi Titik dari Graf Semi Jahangir, Graf Octopus, dan Graf Lotus*. 4(1), 2023. <https://doi.org/10.25037/cgantjma.v4i1.97>
- Musanna, A. (2017). INDIGENISASI PENDIDIKAN: Rasionalitas Revitalisasi Praksis Pendidikan Ki Hadjar Dewantara. *Jurnal Pendidikan Dan Kebudayaan*, 2(1), 117–133. <https://doi.org/10.24832/jpnk.v2i1.529>
- Ndajah, P., Kikuchi, H., Yukawa, M., Watanabe, H., & Muramatsu, S. (2010).

- SSIM image quality metric for denoised images. *International Conference on Visualization, Imaging and Simulation - Proceedings, November*, 53–57.
- Octavianingrum, D. (2022). Desain model research based learning untuk meningkatkan budaya melakukan riset. *Jurnal Pendidikan Dan Konseling*, 4(6), 7769–7776.
- Pertiwi, T. P., Pangestu, D. D., Febrian, W. D., Nove, A. H., Megavitry, R., & Imanirubiarko, S. (2024). Strategi Pengembangan Kompetensi Dosen Untuk Menanggapi Tantangan Pendidikan Abad Ke-21. *Jurnal Review Pengajaran Dan Pendidikan*, 7(1), 2586–2596. <https://journal.universitaspahlawan.ac.id/index.php/jrpp/article/view/25779/17966>
- Rahim, F. R. (2019). Implementasi Research Based Learning (RBL) pada Mata Kuliah IPA Terpadu di Pro-gram Studi Pendidikan Fisika. *Jurnal Eksakta Pendidikan (Jep)*, 3(1), 82. <https://doi.org/10.24036/jep/vol3-iss1/321>
- Sanga, L. D., & Wangdra, Y. (2023). Pendidikan Adalah Faktor Penentu Daya Saing Bangsa. *Prosiding Seminar Nasional Ilmu Sosial Dan Teknologi (SNISTEK)*, 5(September), 84–90. <https://doi.org/10.33884/psnistek.v5i.8067>
- Santoso, K. A., Najah, M. L., & Hasan, M. (2022). Image Authentication Based on Magic Square. *Proceedings of the International Conference on Mathematics, Geometry, Statistics, and Computation (IC-MaGeStiC 2021)*, 96, 233–237. <https://doi.org/10.2991/acsr.k.220202.043>
- Septory, B. J., Susilowati, L., Dafik, D., & Venkatachalam, M. (2023). On Rainbow Antimagic Coloring of Joint Product of Graphs. *CAUCHY: Jurnal Matematika Murni Dan Aplikasi*, 7(4), 548–558. <https://doi.org/10.18860/ca.v7i4.17471>
- Sufirman, S., Dafik, D., & Fatahillah, A. (2022). Pengembangan Perangkat Pembelajaran RBL-STEM Untuk Meningkatkan Metaliterasi Siswa Menerapkan Konsep Relasi Fungsi Dalam Menyelesaikan Masalah Dekorasi Teselasi Wallpaper. *Cgant Journal of Mathematics and Applications*, 3(1). <https://doi.org/10.25037/cgantjma.v3i1.69>
- Suntusia, Dafik, & Hobri. (2019). The effectiveness of Research Based Learning in improving students' achievement in solving two-dimensional arithmetic sequence problems. *International Journal of Instruction*, 12(1), 17–32. <https://doi.org/10.29333/iji.2019.1212a>