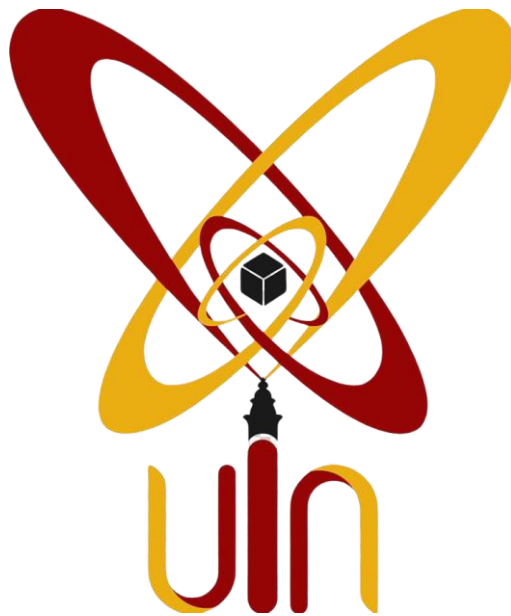


LAPORAN HASIL PELAKSANAAN PKL/MAGANG
QR CODE WATERMARKING PADA TANDA TANGAN
DIGITAL MENGGUNAKAN DFT DENGAN OPTIMASI PSO
UNTUK AUTENTIKASI DOKUMEN

Disusun untuk memenuhi salah satu syarat pelaksanaan PKL/Magang
pada Program Studi Informatika



Disusun oleh:

Nama : Azwa Fazilatunnisa

NIM : 231730013

PROGRAM STUDI INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
SULTAN MAULANA HASANUDDIN BANTEN
2026

HALAMAN PENGESAHAN

Laporan hasil pelaksanaan PKL/Magang ini telah disusun oleh:

Nama : Azwa Fazilatunnisa
NIM : 231730013
Program Studi : Informatika
Judul PKL/Magang : QR Code Watermarking Pada Tanda Tangan Digital
Menggunakan DFT Dengan Optimasi PSO Untuk
Autentikasi Dokumen
Tempat PKL/Magang : BRIN KST Cisit Bandung Samaun Samadikun
Waktu Pelaksanaan : 18 Februari – 17 Juli 2026 (6 Bulan)

Laporan ini telah diperiksa dan disahkan sebagai laporan hasil pelaksanaan PKL/Magang.

Bandung, 22 Juni 2026

Dosen Pembimbing PKL/Magang,



M. Iman Wahyudi, S.Pd.I., M.Kom

NIP. 1998507142020121003

Pembimbing Lapangan,



Prof. Dr. Didi Rosiyadi, M.Kom

Peneliti Ahli Utama

Mengetahui,
Ketua Program Studi Informatika

Ahmad Tabrani M.T.I

NIP. 198509172018011002

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT karena atas rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan laporan hasil pelaksanaan PKL/Magang yang berjudul “QR Code Watermarking Pada Tanda Tangan Digital Menggunakan DFT Dengan Optimasi PSO Untuk Autentikasi Dokumen” dengan baik.

Laporan ini disusun sebagai salah satu bentuk pertanggungjawaban atas kegiatan PKL/Magang yang telah dilaksanakan di BRIN (Badan Riset dan Inovasi Nasional) KST Cisitubandung Smaun Samadikun. Melalui kegiatan ini, penulis memperoleh pengalaman, pengetahuan, serta pemahaman secara langsung mengenai dunia kerja, khususnya dalam bidang Cybersecurity.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan, bimbingan, dan dukungan selama pelaksanaan PKL/Magang hingga penyusunan laporan ini, terutama kepada:

1. Bapak Ahmad Tabrani M.T.I
2. Bapak M. Iman Wahyudi, S.Pd.I., M.Kom
3. Prof. Dr. Didi Rosiyadi, M.Kom
4. Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)
5. Semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan PKL/Magang.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih memiliki kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan agar laporan ini dapat menjadi lebih baik. Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan pihak-pihak yang membutuhkan.

Bandung, 22 Juni 2026

Azwa Fazilatunnisa

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
RINGKASAN	vi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan PKL/Magang.....	3
1.3.1 Tujuan umum	3
1.3.2 Tujuan khusus	3
1.4 Manfaat PKL/Magang.....	4
1.4.1 Manfaat teoritis	4
1.4.2 Manfaat praktis.....	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA	5
2.1 Kajian Pustaka.....	5
2.1.1 Pengertian Digital Image Watermarking dan Autentikasi Citra	5
2.1.2 Konsep Discrete Fourier Transform (DFT)	6
2.1.3 Konsep Particle Swarm Optimization (PSO)	6
2.1.4 Metrik Evaluasi Watermarking: PSNR dan NCC	6
2.1.5 Penelitian atau referensi terkait.....	7
2.2 Kerangka Pikir Teoritis.....	8
BAB III.....	9
3.1 Lokasi PKL/Magang	9
3.2 Desain Pelaksanaan PKL/Magang	9
3.3 Penentuan Objek PKL/Magang.....	10
3.4 Metode Pengumpulan Data.....	10
3.5 Teknik Analisis Data.....	11
BAB IV HASIL PKL/MAGANG DAN PEMBAHASAN.....	13
4.1 Deskripsi Kegiatan PKL/Magang	13
4.2 Permasalahan yang Ditemukan.....	14
4.3 Metode Penyelesaian Masalah.....	15
4.4 Hasil Pelaksanaan PKL/Magang.....	15
4.5 Pembahasan.....	18
4.6 Pelajaran yang Diperoleh.....	19
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	20
5.1 Kesimpulan	20

5.2	Keterbatasan.....	20
5.3	Implikasi.....	21
5.4	Saran.....	21
DAFTAR PUSTAKA		23
LAMPIRAN		25

RINGKASAN

Pelaksanaan PKL/Magang di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) KST Cistitu Bandung Samaun Samadikun dilakukan dengan fokus pada penelitian *QR Code Watermarking pada Tanda Tangan Digital Menggunakan DFT dengan Optimasi PSO untuk Autentikasi Dokumen* pada Kelompok Riset *Cybersecurity*, Pusat Riset Kecerdasan Artifisial dan Keamanan Siber (PRKAKS). Penelitian ini dilatarbelakangi oleh maraknya kasus pemalsuan dokumen elektronik di Indonesia, sehingga dibutuhkan mekanisme autentikasi dokumen digital yang lebih andal, khususnya pada elemen tanda tangan sebagai penanda identitas dan keabsahan dokumen.

Kegiatan PKL/Magang dilaksanakan pada periode 18 Februari–17 Juli 2026 dengan menggunakan pendekatan watermarking berbasis transformasi domain frekuensi. QR Code yang memuat informasi identitas disisipkan ke dalam citra tanda tangan digital pada domain *mid-frequency* menggunakan metode *Discrete Fourier Transform* (DFT). Untuk memperoleh parameter kekuatan embedding (α) yang optimal, digunakan algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) dengan *fitness function* yang mempertimbangkan nilai *Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR) dan *Normalized Cross-Correlation* (NCC) secara simultan. Hasil sistem kemudian diuji ketahanannya (*robustness testing*) terhadap enam jenis serangan, yaitu kompresi JPEG, *gaussian noise*, rotasi, dan perubahan brightness.

Hasil kegiatan menunjukkan bahwa sistem watermarking yang dikembangkan berhasil mencapai tingkat *imperceptibility* yang baik, dengan nilai PSNR watermarked image sebesar 51,15 dB dan NCC ekstraksi baseline sebesar 0,9499 pada α optimal hasil PSO sebesar 0,1007. Namun, hasil pengujian robustness menunjukkan bahwa sistem masih memiliki keterbatasan dalam mempertahankan informasi watermark ketika citra mengalami serangan, dengan nilai NCC tertinggi hanya mencapai 0,3690 pada serangan JPEG Q=75. Kegiatan PKL/Magang ini memberikan pengalaman bagi penulis dalam menerapkan ilmu di bidang keamanan citra digital, transformasi domain frekuensi, dan algoritma

optimasi metaheuristik dalam menyelesaikan permasalahan nyata terkait autentikasi dokumen digital.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pelaksanaan PKL/Magang merupakan salah satu kegiatan akademik yang bertujuan untuk memberikan pengalaman langsung kepada mahasiswa dalam dunia kerja. Melalui kegiatan ini, mahasiswa dapat menerapkan ilmu yang telah diperoleh selama perkuliahan serta memahami kondisi nyata di lingkungan kerja, khususnya pada bidang riset dan inovasi di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN).

Di era digital saat ini, dokumen-dokumen penting seperti kontrak, ijazah, dan surat resmi semakin banyak yang beralih ke format elektronik. Kondisi ideal yang diharapkan adalah setiap dokumen digital, khususnya yang memuat tanda tangan, dapat diverifikasi keasliannya secara cepat dan akurat. Namun, kondisi nyata yang ditemukan menunjukkan bahwa pemalsuan dokumen elektronik telah menjadi permasalahan serius di Indonesia. Electronic document forgery merupakan bagian signifikan dari kasus cybercrime di Indonesia, menyumbang sekitar 22% dari seluruh laporan kejahatan digital menurut Badan Siber dan Sandi Negara (BSSN, 2023) [1]. Kasus nyata yang terjadi antara lain pemalsuan dokumen elektronik di Pengadilan Tata Usaha Negara Jakarta tahun 2022 yang melibatkan teknik manipulasi canggih sehingga memerlukan analisis forensik khusus untuk mendeteksinya [1]. Kesenjangan ini menunjukkan bahwa tanda tangan digital yang umum digunakan saat ini masih rentan dimanipulasi karena belum memiliki mekanisme verifikasi keaslian yang kuat.

Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan ini adalah *digital image watermarking*. Watermarking dianggap sebagai disiplin yang relatif muda dan merupakan solusi yang cukup efisien untuk berbagai bidang keamanan, seperti perlindungan hak cipta dan autentikasi [2]. Skema watermarking dapat bersifat blind, di mana informasi yang disisipkan dideteksi atau diekstraksi langsung dari citra watermarked

tanpa memerlukan citra asli, atau non-blind, yang memerlukan citra asli untuk mengekstraksi watermark [2]. Salah satu metode embedding yang banyak digunakan adalah *additive method*, yaitu pendekatan yang menambahkan watermark ke komponen citra menggunakan operasi matematis, di mana sebuah faktor pengali mengontrol kekuatan penyisipan watermark untuk menjaga keseimbangan antara imperceptibility dan robustness [2].

Metode transformasi domain frekuensi menjadi salah satu pendekatan unggulan dalam skema watermarking. *Discrete Fourier Transform* (DFT) menjadi salah satu metode yang paling banyak diteliti, karena fitur DFT menunjukkan robustness yang lebih baik terhadap serangan geometris dibandingkan DCT dan DWT [3]. Pada penelitian terdahulu, watermark disisipkan pada area anular (ring) dari magnitude DFT untuk mengurangi masalah *coupling spasial* yang terjadi pada domain spasial [3]. Pendekatan *mid-frequency* atau *ring-shaped embedding* ini dipilih karena dapat menyeimbangkan *trade-off* antara *imperceptibility* dan *robustness watermark*.

Penelitian lain juga menunjukkan bahwa QR Code dapat dimanfaatkan sebagai watermark untuk keperluan autentikasi. Salah satu skema *watermarking* menggunakan citra QR yang dibangkitkan sebagai watermark, yang memuat kunci publik dan privat menggunakan sistem kriptografi untuk memastikan keaslian dan kepemilikan citra [4]. Meskipun demikian, permasalahan utama yang sering dihadapi dalam watermarking berbasis DFT adalah pemilihan parameter embedding secara manual. Praktik penyesuaian manual ini dapat melibatkan tugas yang melelahkan dan pada saat yang sama menjadi kelemahan dalam skenario praktis.

Untuk mengatasi hal tersebut, berbagai teknik optimasi telah diadopsi oleh metode watermarking robust untuk memungkinkan penyesuaian parameter operasi utama secara otomatis, sehingga meningkatkan kinerjanya [5]. Salah satu algoritma optimasi yang terbukti efektif adalah *Particle Swarm Optimization* (PSO), yang digunakan untuk mencari nilai parameter kekuatan embedding yang optimal secara otomatis.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penulis tertarik untuk melakukan penelitian mengenai *QR Code Watermarking pada Tanda Tangan Digital Menggunakan DFT dengan Optimasi PSO untuk Autentikasi Dokumen* selama pelaksanaan PKL/Magang di BRIN. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan metode autentikasi dokumen digital yang lebih andal, khususnya pada citra tanda tangan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana hasil identifikasi permasalahan keamanan dan autentikasi pada citra tanda tangan digital yang melatarbelakangi perlunya penerapan *watermarking*?
2. Bagaimana proses perancangan dan implementasi *QR Code watermarking* pada citra tanda tangan digital menggunakan *metode Discrete Fourier Transform (DFT)* yang dioptimasi dengan algoritma *Particle Swarm Optimization (PSO)*?
3. Bagaimana hasil evaluasi kualitas visual (PSNR) dan ketahanan watermark (NCC) terhadap berbagai jenis serangan pada sistem yang telah dikembangkan?

1.3 Tujuan PKL/Magang

1.3.1 Tujuan umum

Tujuan umum pelaksanaan PKL/Magang ini adalah untuk merancang dan mengevaluasi sistem *QR Code watermarking* pada citra tanda tangan digital menggunakan metode *Discrete Fourier Transform (DFT)* yang dioptimasi dengan algoritma *Particle Swarm Optimization (PSO)*, sebagai salah satu solusi autentikasi dokumen digital.

1.3.2 Tujuan khusus

1. Mengidentifikasi permasalahan keamanan dan autentikasi pada citra tanda tangan digital yang melatarbelakangi perlunya penerapan *watermarking*.

2. Merancang dan mengimplementasikan QR Code watermarking pada citra tanda tangan digital menggunakan metode DFT yang dioptimasi dengan algoritma PSO.
3. Mengevaluasi kualitas visual (PSNR) dan ketahanan watermark (NCC) terhadap berbagai jenis serangan pada sistem yang telah dikembangkan.

1.4 Manfaat PKL/Magang

1.4.1 Manfaat teoritis

Secara teoritis, laporan ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan di bidang *digital image watermarking*, khususnya dalam penerapan metode Discrete Fourier Transform yang dioptimasi dengan algoritma Particle Swarm Optimization untuk keperluan autentikasi dokumen digital. Laporan ini juga dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya yang membahas topik serupa, khususnya terkait pengembangan metode ekstraksi watermark yang lebih robust.

1.4.2 Manfaat praktis

Secara praktis, laporan ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi mahasiswa dalam meningkatkan kemampuan teknis di bidang pemrograman dan keamanan citra digital, khususnya dalam penerapan transformasi domain frekuensi dan algoritma optimasi metaheuristik. Bagi instansi BRIN, laporan ini dapat menjadi salah satu dokumentasi hasil kegiatan mahasiswa magang yang dapat dikembangkan lebih lanjut, terutama dalam konteks autentikasi dokumen digital. Bagi pihak kampus, laporan ini dapat menjadi bahan evaluasi serta referensi dalam pengembangan kurikulum yang relevan dengan kebutuhan dunia kerja di bidang keamanan siber.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

2.1.1 Pengertian Digital Image Watermarking dan Autentikasi Citra

Digital image watermarking merupakan teknik penyisipan informasi tertentu ke dalam suatu citra digital dengan tujuan melindungi keaslian, kepemilikan, atau identitas dari citra tersebut. *Watermarking* erat kaitannya dengan upaya autentikasi citra digital terhadap berbagai bentuk manipulasi. Dengan semakin populernya perangkat pencitraan elektronik berperforma tinggi dan semakin luasnya penggunaan perangkat lunak penyuntingan citra digital, ambang batas untuk mengedit citra digital menjadi semakin rendah, sehingga citra hasil manipulasi profesional dapat dengan mudah mengelabui sistem visual manusia [6]. Citra yang telah dimanipulasi tersebut membawa ancaman serius pada berbagai bidang, termasuk privasi pribadi, komunikasi berita, pengumpulan barang bukti yudisial, dan keamanan informasi [6].

Dalam konteks autentikasi dokumen, watermarking erat kaitannya dengan konsep tanda tangan digital (*digital signature*). Tanda tangan digital adalah representasi elektronik dari tanda tangan tulisan tangan, yang digunakan untuk memberikan keyakinan bahwa suatu informasi ditandatangani oleh pihak yang sesungguhnya mengklaim menandatanganinya [7]. Agar suatu tanda tangan digital dapat dikatakan sah, tanda tangan tersebut tidak boleh berupa citra statis, melainkan harus dihasilkan secara dinamis berdasarkan informasi pada dokumen yang ditandatangani [7]. Konsep ini menjadi dasar penting dalam memahami mengapa diperlukan mekanisme tambahan, seperti watermarking, untuk memastikan keaslian citra tanda tangan digital yang digunakan dalam suatu dokumen.

2.1.2 Konsep Discrete Fourier Transform (DFT)

Discrete Fourier Transform (DFT) merupakan salah satu metode transformasi domain frekuensi yang banyak digunakan dalam pengolahan citra digital. Penggunaan transformasi Fourier memungkinkan suatu citra dianalisis sebagai kumpulan sinusoida spasial pada berbagai arah, dengan setiap sinusoida memiliki frekuensi yang presisi [8]. Secara matematis, DFT mengubah representasi citra dari domain spasial menjadi domain frekuensi, sehingga informasi citra dapat direpresentasikan dalam bentuk komponen frekuensi rendah, menengah (*mid-frequency*), dan tinggi. Pemilihan domain frekuensi tempat watermark disisipkan sangat menentukan karakteristik hasil watermarking, baik dari sisi kualitas visual maupun ketahanan terhadap serangan

2.1.3 Konsep Particle Swarm Optimization (PSO)

Particle Swarm Optimization (PSO) adalah salah satu algoritma optimasi metaheuristik berbasis populasi yang terinspirasi dari perilaku sosial kelompok hewan. Algoritma PSO melibatkan gerakan inersia suatu partikel sesuai dengan kecepatannya sendiri, sekaligus mempertimbangkan perilaku partikel itu sendiri, serta turut berpartisipasi dalam pembagian informasi kelompok dan kerja sama untuk menemukan posisi terbaik dalam kawanan partikel [9]. Setiap partikel dalam PSO memiliki dua atribut utama, yaitu posisi dan kecepatan, yang diperbarui secara iteratif berdasarkan pengalaman terbaik partikel itu sendiri (*personal best/pbest*) dan pengalaman terbaik dari seluruh kawanan (*global best/gbest*). Dalam konteks watermarking, PSO dimanfaatkan untuk mengoptimasi parameter kekuatan embedding secara otomatis, menggantikan metode pemilihan parameter secara manual yang cenderung tidak optimal.

2.1.4 Metrik Evaluasi Watermarking: PSNR dan NCC

Untuk mengevaluasi performa suatu sistem watermarking, terdapat dua metrik utama yang umum digunakan dalam penelitian, yaitu *Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR) dan *Normalized Cross-Correlation* (NCC).

Nilai NCC yang lebih tinggi menunjukkan bahwa watermark hasil ekstraksi lebih mirip dengan watermark aslinya, sementara nilai Bit Error Rate (BER) yang rendah menunjukkan sedikitnya bit yang mengalami kerusakan selama proses ekstraksi [10]. Beberapa penelitian watermarking berbasis frekuensi mampu menjaga kualitas citra yang tinggi, dengan nilai PSNR melebihi 45 dB dan koefisien korelasi yang mendekati nilai 1 [10]. PSNR digunakan untuk mengukur tingkat *imperceptibility*, yaitu seberapa baik kualitas visual citra watermarked dibandingkan citra aslinya, sedangkan NCC digunakan untuk mengukur tingkat *robustness*, yaitu seberapa mirip watermark hasil ekstraksi dengan watermark aslinya, terutama setelah citra mengalami berbagai bentuk serangan atau manipulasi.

2.1.5 Penelitian atau referensi terkait

Beberapa penelitian terdahulu telah membahas konsep autentikasi citra dan watermarking dari berbagai perspektif. Penelitian mengenai deteksi manipulasi citra menunjukkan bahwa metode deteksi tamper dapat diklasifikasikan berdasarkan jenis indikasi yang digunakan, baik berdasarkan konten citra maupun berdasarkan jejak kompresi ganda JPEG [6]. Penelitian lain membahas penggunaan tanda tangan digital berbasis kriptografi sebagai salah satu metode autentikasi yang dapat diterapkan pada citra digital, dengan menekankan bahwa tanda tangan yang valid harus bersifat dinamis dan terikat pada konten dokumen yang ditandatangani, bukan berupa citra statis [7]. Selain itu, beberapa penelitian metrik evaluasi watermarking menegaskan pentingnya kombinasi PSNR dan NCC sebagai standar dalam mengukur keseimbangan antara kualitas visual dan ketahanan watermark [10]. Penelitian-penelitian tersebut menjadi acuan dalam memahami konteks permasalahan autentikasi citra tanda tangan digital serta metode evaluasi yang digunakan dalam laporan ini.

2.2 Kerangka Pikir Teoritis

Kerangka pikir teoritis pada penelitian ini menggambarkan alur hubungan antara teori, permasalahan, objek penelitian, jenis data, metode pengumpulan data, dan teknik analisis data yang digunakan.

Permasalahan utama yang melatarbelakangi penelitian ini adalah rentannya citra tanda tangan digital terhadap pemalsuan, sementara mekanisme autentikasi yang tersedia saat ini masih terbatas. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, digunakan teori *digital image watermarking* sebagai landasan utama, yang diimplementasikan menggunakan metode *Discrete Fourier Transform* (DFT) sebagai teknik embedding pada domain frekuensi. Objek penelitian dalam laporan ini adalah citra tanda tangan digital yang akan disisipkan watermark berupa QR Code yang memuat informasi identitas.

Jenis data yang digunakan berupa data citra digital, yaitu citra tanda tangan dan citra QR Code yang dihasilkan secara terpisah. Pengumpulan data dilakukan melalui proses simulasi menggunakan bahasa pemrograman Python, di mana citra tanda tangan diolah melalui proses transformasi DFT, embedding watermark, serta optimasi parameter menggunakan algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO).

Teknik analisis data dilakukan secara kuantitatif dengan menghitung dua metrik evaluasi utama, yaitu PSNR untuk mengukur kualitas visual citra watermarked, dan NCC untuk mengukur tingkat kemiripan antara watermark asli dan watermark hasil ekstraksi sebagai indikator ketahanan (*robustness*). Hasil analisis ini selanjutnya digunakan untuk mengevaluasi efektivitas sistem watermarking yang dikembangkan dalam mendukung autentikasi dokumen digital, khususnya pada citra tanda tangan.

BAB III

METODE PKL/MAGANG

3.1 Lokasi PKL/Magang

Penelitian ini dilaksanakan selama kegiatan magang dengan durasi enam bulan, terhitung mulai tanggal 18 Februari 2026 hingga 17 Juli 2026. Rentang waktu tersebut mencakup tahapan studi literatur, perancangan sistem watermarking, implementasi program, optimasi parameter menggunakan algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO), pengujian ketahanan watermark (*robustness testing*), hingga penyusunan laporan akhir penelitian.

Lokasi penelitian bertempat di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), khususnya pada Pusat Riset Kecerdasan Artifisial dan Keamanan Siber (PRKAKS) Kelompok Riset Cybersecurity, yang berlokasi di Kawasan Sains dan Teknologi (KST) Cisitua Bandung Samaun Samadikun. Pemilihan lokasi dilakukan secara purposif karena unit kerja tersebut secara aktif melakukan riset di bidang keamanan informasi digital, termasuk pengamanan dan autentikasi dokumen, yang relevan dengan topik penelitian watermarking citra tanda tangan digital yang dikaji dalam laporan ini.

3.2 Desain Pelaksanaan PKL/Magang

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental dengan metode simulasi komputasi berbasis pengolahan citra digital (*digital image processing*). Pendekatan ini dipilih karena penelitian berfokus pada perancangan, implementasi, dan pengukuran kinerja suatu sistem watermarking secara objektif melalui metrik numerik, bukan melalui interpretasi pengalaman pengguna secara kualitatif. Dalam pendekatan eksperimental berbasis DFT, pemilihan lokasi penyisipan watermark sangat penting. Koefisien frekuensi rendah memegang mayoritas energi citra, sehingga modifikasinya akan sangat menurunkan kualitas visual, sedangkan koefisien frekuensi tinggi mudah hilang akibat berbagai operasi pemrosesan citra. Oleh karena itu, penyisipan pada bagian mid-frequency menjadi pilihan yang paling tepat [11].

Pendekatan eksperimental memungkinkan peneliti untuk merancang suatu sistem (citra tanda tangan yang disisipi watermark QR Code), memberikan perlakuan tertentu (optimasi parameter dan simulasi serangan), kemudian mengukur dampak dari perlakuan tersebut secara kuantitatif melalui nilai *Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR) dan *Normalized Cross-Correlation* (NCC). Metode ini digunakan sebagai kerangka utama dalam mengembangkan sistem watermarking yang optimal, sehingga sistem yang dihasilkan tidak hanya dapat menyisipkan watermark secara tersembunyi, tetapi juga dapat dipertanggungjawabkan secara terukur dari sisi kualitas visual dan ketahanannya.

3.3 Penentuan Objek PKL/Magang

Objek dalam penelitian ini adalah citra tanda tangan digital yang akan disisipkan watermark berupa QR Code yang memuat informasi identitas. Fokus penelitian diarahkan pada proses penyisipan (*embedding*) watermark menggunakan metode *Discrete Fourier Transform* (DFT), optimasi parameter kekuatan embedding menggunakan algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO), serta pengujian ketahanan watermark terhadap berbagai jenis serangan pada citra.

Selain itu, fokus penelitian meliputi pengembangan skema ekstraksi watermark untuk memperoleh kembali informasi QR Code dari citra yang telah disisipi watermark, yang dirancang berdasarkan hasil evaluasi terhadap metode baseline yang sudah ada. Proses pengembangan ini mengadopsi pendekatan optimasi metaheuristik dengan algoritma PSO, di mana penentuan nilai parameter embedding secara otomatis menjadi dasar untuk menciptakan sistem watermarking yang lebih optimal, baik dari sisi kualitas visual (*imperceptibility*) maupun ketahanan (*robustness*) terhadap manipulasi citra.

3.4 Metode Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan secara sistematis untuk mendukung proses perancangan dan evaluasi sistem

watermarking berbasis DFT dan PSO. Adapun teknik yang digunakan meliputi:

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memperoleh landasan teoretis yang kuat mengenai konsep *digital image watermarking*, *Discrete Fourier Transform* (DFT), algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO), serta metrik evaluasi PSNR dan NCC. Literatur yang digunakan meliputi jurnal ilmiah, artikel ilmiah, dan referensi akademik yang relevan sebagai dasar dalam proses perancangan dan evaluasi sistem.

2. Simulasi dan Eksperimen Komputasi

Simulasi dilakukan dengan mengimplementasikan sistem watermarking menggunakan bahasa pemrograman Python, meliputi proses embedding watermark pada domain frekuensi citra, optimasi parameter alpha menggunakan algoritma PSO, serta proses ekstraksi watermark dari citra watermarked. Simulasi ini bertujuan untuk menghasilkan data kuantitatif berupa nilai PSNR dan NCC pada berbagai kondisi pengujian.

3. Pengujian Ketahanan (Robustness Testing)

Pengujian dilakukan dengan memberikan berbagai jenis serangan pada citra watermarked, meliputi kompresi JPEG, *Gaussian noise*, rotasi, dan perubahan *brightness*. Pengujian ini bertujuan untuk mengukur sejauh mana watermark yang disisipkan dapat dipertahankan ketika citra mengalami manipulasi atau distorsi.

3.5 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data dalam penelitian ini menggunakan analisis kuantitatif berdasarkan metrik evaluasi watermarking. Data yang diperoleh dari hasil simulasi dan pengujian dianalisis melalui tahapan perhitungan nilai PSNR dan NCC, perbandingan hasil sebelum dan sesudah optimasi PSO, serta evaluasi terhadap hasil pengujian robustness. Hasil analisis digunakan untuk:

1. Mengidentifikasi performa sistem watermarking baseline sebelum dilakukan optimasi.

2. Menentukan parameter embedding optimal melalui proses optimasi menggunakan algoritma PSO.
3. Mengevaluasi tingkat *imperceptibility* dan *robustness* sistem watermarking yang telah dikembangkan terhadap berbagai jenis serangan citra.

BAB IV

HASIL PKL/MAGANG DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Kegiatan PKL/Magang

Selama pelaksanaan Praktik Kerja Lapangan (PKL)/Magang di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), penulis melaksanakan berbagai kegiatan yang berkaitan dengan pengembangan sistem QR Code watermarking pada citra tanda tangan digital. Kegiatan tersebut meliputi studi literatur, implementasi baseline watermarking berbasis Discrete Fourier Transform (DFT), perancangan dan optimasi parameter embedding menggunakan algoritma Particle Swarm Optimization (PSO), pengujian ketahanan watermark (*robustness testing*), hingga penyusunan artikel ilmiah dan laporan akhir PKL/Magang. Rangkaian kegiatan tersebut dilakukan secara bertahap untuk menghasilkan sistem watermarking yang optimal dari sisi kualitas visual dan ketahanan. Rincian kegiatan yang dilakukan selama PKL/Magang disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Kegiatan PKL/Magang

No	Bulan	Kegiatan	Keterangan
1	Februari 2026	Pemaparan proposal dan koordinasi awal	Melakukan pemaparan proposal serta koordinasi awal dengan pembimbing terkait pelaksanaan kegiatan permagangan.
2	Februari–Maret 2026	Studi literatur	Mengkaji referensi terkait digital image watermarking, DFT, PSO, serta metrik PSNR dan NCC sebagai landasan penelitian.
3	Maret–April 2026	Implementasi baseline DFT	Merancang dan mengimplementasikan sistem watermarking dasar menggunakan metode DFT dengan parameter alpha manual.
4.	April–Mei 2026	Optimasi parameter menggunakan PSO	Mengembangkan skema optimasi PSO untuk menentukan nilai alpha optimal pada domain mid-frequency DFT.

5.	Mei 2026	Pengujian robustness	Melakukan pengujian ketahanan watermark terhadap enam jenis serangan (JPEG, noise, rotasi, brightness).
6.	Mei–Juni 2026	Penyusunan artikel	Menyusun artikel ilmiah dengan menggunakan template dari rumah jurnal yang ingin di-submit.
7.	Juni 2026	Evaluasi dan analisis hasil	Menganalisis hasil PSNR dan NCC, membandingkan baseline dengan hasil optimasi PSO.
8.	Juni 2026	Menyusun Laporan Hasil Magang dan KUKERTA	Menyusun laporan hasil magang dan KUKERTA sebagai luaran kegiatan Magang.

Sumber: Data diolah oleh penulis, 2026

4.2 Permasalahan yang Ditemukan

Selama pelaksanaan PKL/Magang, penulis menghadapi beberapa kendala yang memengaruhi proses penyelesaian kegiatan. Salah satu kendala utama yang ditemukan adalah rendahnya nilai ketahanan (*robustness*) watermark pada implementasi baseline awal, di mana nilai NCC setelah citra mengalami serangan seperti kompresi JPEG dan Gaussian noise turun secara drastis hingga di bawah 0,20. Selain itu, pada tahap optimasi awal menggunakan PSO, ditemukan bahwa algoritma cenderung konvergen ke nilai α yang sangat kecil, sehingga watermark menjadi terlalu lemah untuk dapat diekstraksi kembali secara akurat.

Penulis juga mengalami tantangan dalam menentukan domain frekuensi yang tepat untuk proses embedding, karena penyisipan pada seluruh spektrum DFT tanpa filter menyebabkan citra mudah terdistorsi oleh serangan. Selain itu, penulis perlu melakukan beberapa kali revisi terhadap fungsi fitness PSO untuk menyesuaikan bobot antara PSNR dan NCC, mengingat fungsi fitness awal cenderung terlalu memprioritaskan kualitas visual dibandingkan ketahanan watermark. Kendala-kendala tersebut berdampak pada bertambahnya waktu yang dibutuhkan dalam proses eksperimen serta perlunya penyesuaian terhadap rencana kegiatan yang telah disusun. Meskipun demikian, melalui diskusi dan bimbingan yang baik dengan pembimbing, serta

penyusunan ulang skema fitness function secara lebih sistematis, sebagian besar kendala tersebut dapat diatasi dengan baik.

4.3 Metode Penyelesaian Masalah

Untuk mengatasi berbagai kendala yang ditemukan selama pelaksanaan PKL/Magang, penulis menerapkan beberapa langkah penyelesaian. Untuk mengatasi rendahnya robustness pada implementasi awal, penulis mengubah lokasi embedding dari seluruh spektrum DFT menjadi domain mid-frequency yang berbentuk *ring* (cincin), karena domain ini lebih stabil dibandingkan frekuensi rendah maupun tinggi. Pada tahap optimasi PSO, penulis memperbaiki rentang batas nilai alpha (dari 0,01–0,20 menjadi 0,05–0,50) serta menyesuaikan bobot fungsi fitness agar lebih memprioritaskan nilai NCC dibandingkan PSNR, sehingga PSO tidak lagi konvergen ke nilai alpha yang terlalu kecil.

Selain itu, penulis melakukan diskusi secara berkala dengan pembimbing untuk memvalidasi pendekatan teknis yang digunakan, serta menyusun jadwal kerja dan skala prioritas untuk mengelola waktu secara lebih efektif agar seluruh tahapan kegiatan, mulai dari implementasi baseline, optimasi PSO, pengujian robustness, hingga penyusunan artikel ilmiah dan laporan akhir, dapat diselesaikan sesuai target yang telah ditetapkan. Melalui langkah-langkah tersebut, berbagai kendala yang muncul selama PKL/Magang dapat diatasi sehingga kegiatan dapat berjalan dengan baik dan tujuan yang telah ditentukan dapat tercapai.

4.4 Hasil Pelaksanaan PKL/Magang

Selama pelaksanaan PKL/Magang, penulis memperoleh berbagai hasil yang berkaitan dengan pengembangan sistem QR Code watermarking pada citra tanda tangan digital. Tahap pertama yang dilakukan adalah implementasi baseline DFT menggunakan parameter alpha manual sebesar 0,05. Hasil implementasi menunjukkan bahwa citra watermarked memiliki nilai PSNR sebesar 39,25 dB dan NCC ekstraksi sebesar 1,000 pada kondisi tanpa

serangan, yang menunjukkan watermark dapat disisipkan dan diekstraksi dengan baik pada kondisi ideal.

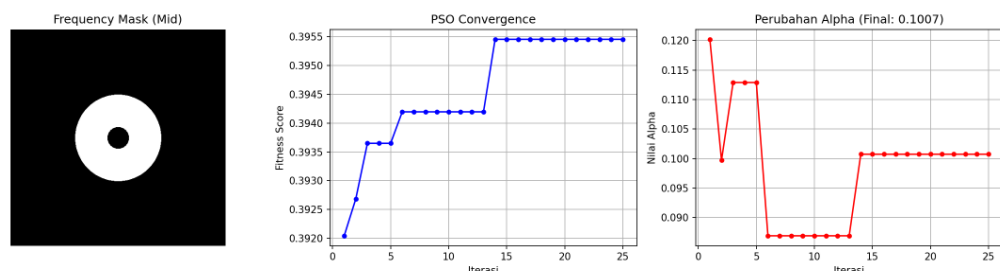
Tabel 4.2. *Output Baseline DFT*

Metrics	Target	Nilai
PSNR	>35 dB	39,25 dB
NCC	>0,85	1,000



Gambar 4.1. *Visualisasi Baseline DFT*

Tahap kedua adalah optimasi parameter embedding menggunakan algoritma PSO pada domain mid-frequency DFT. Penyisipan watermark pada domain DFT memiliki sejumlah sifat robust terhadap rotasi, scaling, dan translasi (RST invariance), serta ketahanan terhadap pemrosesan sinyal umum seperti kompresi JPEG, filtering, dan kontaminasi noise, namun penyesuaian parameter kunci secara manual dapat melibatkan tugas yang melelahkan dan menjadi kelemahan dalam skenario praktis [5]. Hasil optimasi menunjukkan nilai alpha optimal sebesar 0,1007, dengan PSNR watermarked image meningkat menjadi 51,15 dB dan NCC baseline sebesar 0,9499.

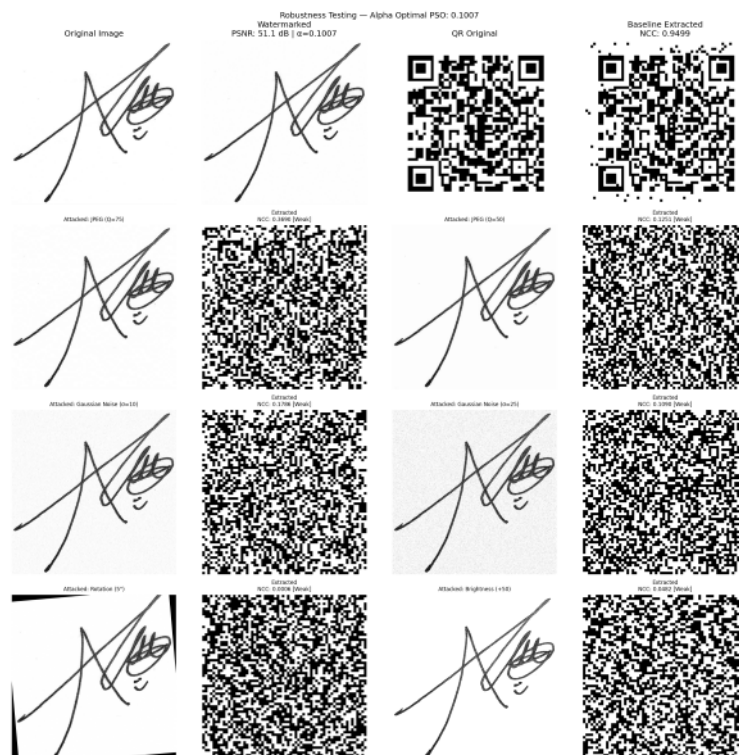


Gambar 4.2. *PSO Convergence + Alpha*

Tahap ketiga adalah pengujian ketahanan watermark (*robustness testing*) terhadap enam jenis serangan menggunakan alpha optimal hasil PSO. Hasil pengujian dirangkum pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Ringkasan Hasil *Robustness Testing*
RINGKASAN HASIL ROBUSTNESS TESTING

Serangan	NCC	Status
JPEG (Q=75)	0.3690	Weak
JPEG (Q=50)	0.1251	Weak
Gaussian Noise ($\sigma=10$)	0.1786	Weak
Gaussian Noise ($\sigma=25$)	0.1090	Weak
Rotation (5°)	0.0006	Weak
Brightness (+50)	0.0482	Weak



Gambar 4.3. *Visualisasi Robustness Testing*

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2026

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai NCC tertinggi pasca-serangan diperoleh pada JPEG Q=75 sebesar 0,3690, sedangkan seluruh jenis serangan lainnya menghasilkan NCC di bawah ambang batas *robust* ($NCC \geq 0,70$). Selain menghasilkan sistem watermarking yang imperceptible, kegiatan

PKL/Magang ini juga memberikan peningkatan keterampilan bagi penulis, khususnya dalam melakukan implementasi transformasi domain frekuensi, optimasi metaheuristik, analisis kuantitatif, serta penyusunan artikel ilmiah dan laporan akhir.

4.5 Pembahasan

Hasil pelaksanaan PKL/Magang menunjukkan bahwa permasalahan pada sistem watermarking citra tanda tangan digital tidak hanya berkaitan dengan keberhasilan penyisipan watermark, tetapi juga dengan keseimbangan antara kualitas visual dan ketahanan terhadap serangan. Temuan tersebut sejalan dengan teori bahwa metode watermarking tradisional yang secara komputasi sederhana cenderung kesulitan memenuhi persyaratan tingkat keandalan yang tinggi, sementara metode yang ditingkatkan robustness-nya berpotensi mengorbankan imperceptibility watermark.

Penerapan algoritma PSO membantu penulis dalam menentukan nilai parameter embedding yang lebih optimal dibandingkan dengan pemilihan secara manual, terbukti dari peningkatan PSNR sebesar ± 12 dB setelah optimasi. Hal ini sejalan dengan keunggulan watermarking berbasis DFT yang umumnya menunjukkan hasil menjanjikan dalam hal imperceptibility dan robustness ketika parameter embedding dioptimasi dengan baik [5]. Namun, hasil robustness testing menunjukkan bahwa peningkatan PSNR tersebut tidak serta-merta meningkatkan ketahanan watermark terhadap serangan, mengingat metode ekstraksi yang digunakan bersifat non-blind sehingga sangat sensitif terhadap perubahan koefisien frekuensi akibat kompresi maupun noise.

Secara umum, hasil yang diperoleh selama PKL/Magang telah sesuai dengan teori yang dibahas pada BAB II, khususnya terkait trade-off antara imperceptibility dan robustness dalam skema watermarking berbasis transformasi domain frekuensi. Sistem yang dihasilkan diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan metode watermarking yang lebih robust pada penelitian selanjutnya, khususnya dengan mengadopsi pendekatan ekstraksi *blind watermarking*.

4.6 Pelajaran yang Diperoleh

Selama pelaksanaan PKL/Magang di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), penulis memperoleh berbagai pengetahuan dan pengalaman yang bermanfaat, khususnya dalam bidang keamanan citra digital dan algoritma optimasi. Penulis belajar menerapkan metode *Discrete Fourier Transform* (DFT) dalam proses *embedding* dan ekstraksi watermark, mulai dari pemilihan domain frekuensi yang tepat, perancangan fungsi fitness untuk algoritma PSO, hingga evaluasi kuantitatif menggunakan metrik PSNR dan NCC. Selain itu, kegiatan PKL/Magang juga meningkatkan keterampilan pemrograman menggunakan Python, kemampuan analisis kritis terhadap hasil eksperimen, manajemen waktu, serta kemampuan beradaptasi dalam menyelesaikan tantangan teknis yang muncul selama proses penelitian. Pengalaman tersebut memberikan wawasan praktis yang melengkapi pengetahuan yang diperoleh selama perkuliahan serta menjadi bekal dalam pengembangan kompetensi profesional di bidang keamanan siber di masa mendatang.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pelaksanaan PKL/Magang di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), dapat disimpulkan bahwa citra tanda tangan digital masih rentan terhadap pemalsuan karena belum memiliki mekanisme autentikasi yang kuat, sehingga dibutuhkan teknik watermarking yang dapat menyisipkan informasi identitas secara tersembunyi. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dilakukan perancangan sistem QR Code watermarking menggunakan metode Discrete Fourier Transform (DFT) yang dioptimasi dengan algoritma Particle Swarm Optimization (PSO) melalui tahapan implementasi baseline, optimasi parameter embedding, serta pengujian ketahanan watermark (*robustness testing*).

Hasil kegiatan PKL/Magang menunjukkan bahwa sistem watermarking yang dikembangkan berhasil mencapai tingkat *imperceptibility* yang baik, dengan nilai PSNR sebesar 51,15 dB dan NCC baseline sebesar 0,9499 pada alpha optimal hasil PSO sebesar 0,1007. Namun, hasil pengujian robustness menunjukkan bahwa sistem masih memiliki keterbatasan dalam mempertahankan informasi watermark ketika citra mengalami serangan, dengan nilai NCC tertinggi hanya mencapai 0,3690. Selain menghasilkan sistem watermarking yang imperceptible, kegiatan PKL/Magang juga memberikan pengalaman dan peningkatan kompetensi penulis dalam bidang keamanan citra digital, khususnya dalam penerapan transformasi domain frekuensi dan algoritma optimasi metaheuristik pada pengembangan sistem autentikasi dokumen.

5.2 Keterbatasan

Kegiatan PKL/Magang ini difokuskan pada perancangan dan optimasi sistem watermarking dalam bentuk simulasi komputasi sehingga belum mencakup tahap implementasi pada sistem dokumen elektronik secara nyata. Selain itu, metode ekstraksi watermark yang digunakan dalam penelitian ini

masih bersifat *non-blind*, yaitu memerlukan citra asli sebagai pembanding pada proses ekstraksi, sehingga sistem belum dapat diterapkan secara optimal pada skenario penggunaan nyata di mana citra asli tidak selalu tersedia. Hal ini menyebabkan ketahanan watermark terhadap berbagai jenis serangan, seperti kompresi JPEG, Gaussian noise, rotasi, dan perubahan brightness, masih belum mencapai tingkat yang optimal. Oleh karena itu, hasil yang diperoleh masih dapat dikembangkan dan disempurnakan pada penelitian atau pengembangan selanjutnya agar dapat diimplementasikan secara lebih luas sesuai dengan kebutuhan autentikasi dokumen digital.

5.3 Implikasi

Hasil pelaksanaan PKL/Magang ini diharapkan dapat memberikan implikasi positif bagi berbagai pihak. Bagi pengembangan ilmu pengetahuan, sistem watermarking yang dihasilkan dapat menjadi rekomendasi awal dalam pengembangan metode autentikasi dokumen digital berbasis DFT dan PSO, khususnya pada citra tanda tangan, sehingga dapat menjadi acuan bagi penelitian selanjutnya yang ingin mengembangkan metode ekstraksi watermark yang lebih robust. Bagi instansi, pelaksanaan PKL/Magang di BRIN diharapkan dapat memperkuat kerja sama antara instansi dan perguruan tinggi dalam mendukung pengembangan kompetensi mahasiswa, khususnya di bidang keamanan siber.

Selain itu, bagi program studi dan pihak kampus, kegiatan PKL/Magang ini dapat menjadi referensi dalam pengembangan keilmuan, khususnya pada bidang *digital image watermarking*, transformasi domain frekuensi, dan penerapan algoritma optimasi metaheuristik dalam pengembangan sistem keamanan citra digital.

5.4 Saran

Sistem watermarking yang dihasilkan pada kegiatan PKL/Magang ini diharapkan dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan dalam pengembangan metode autentikasi dokumen digital, khususnya pada citra tanda tangan. Selain itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan metode ekstraksi

watermark berbasis *blind watermarking* yang tidak memerlukan citra asli, serta mengeksplorasi kombinasi domain transformasi lain seperti DFT dengan DWT atau SVD, agar diperoleh hasil ketahanan watermark yang lebih optimal terhadap berbagai jenis serangan pada implementasi nyata.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Setiawan and Hartiwiningsih, “Optimizing the use of Digital Forensics and Information Technology in Proving Criminal Acts of Electronic Document Forgery in Indonesia,” *Int. J. Law, Crime Justice*, vol. 2, no. 2, pp. 73–86, 2025, doi: <https://doi.org/10.62951/ijlcj.v2i2.587>.
- [2] S. Boujerfaoui, R. Riad, H. Douzi, F. Ros, and R. Harba, “Image Watermarking between Conventional and Learning-Based Techniques : A Literature Review,” vol. 12, no. 1, pp. 1–39, 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/electronics12010074>.
- [3] Q. Zhou *et al.*, “Watermarking Algorithm for Remote Sensing Images Based on,” vol. 16, no. 14, pp. 1–20, 2024.
- [4] P. V. Sanivarapu, K. N. V. P. S. Rajesh, K. M. Hosny, and M. M. Fouda, “Digital Watermarking System for Copyright Protection and Authentication of Images Using Cryptographic Techniques,” vol. 12, no. 17, pp. 1–13, 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/app12178724>.
- [5] M. Cedillo-hernandez, A. Cedillo-hernandez, and F. J. Garcia-Ugalde, “Improving DFT-Based Image Watermarking Using Particle Swarm Optimization Algorithm,” *MDPI J.*, vol. 9, no. 15, pp. 1–20, 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/math9151795>.
- [6] X. Chen, “An Overview of Image Tamper Detection,” *J. Inf. Hiding Priv. Prot.*, vol. 4, no. 2, pp. 103–113, 2023, doi: [10.32604/jihpp.2022.039766](https://doi.org/10.32604/jihpp.2022.039766).
- [7] P. K. Shukla, A. Aljaedi, P. K. Pareek, A. R. Alharbi, and S. S. Jamal, “AES Based White Box Cryptography in Digital Signature Verification,” *sensors*, vol. 22, no. 23, pp. 1–22, 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/s22239444>.
- [8] D. A. Gupta, D. A. Tenguria, D. P. Shrivastava, and B. Ahuja, “AN OVERVIEW OF FOURIER TRANSFORM ON IMAGE,” *AGPE R. Gondwana Res. J. Hist. Sci. Econ. Polit. Soc. Sci.*, vol. 03, no. 10, pp. 13–18, 2022.
- [9] M. Cai, “An Improved Particle Swarm Optimization Algorithm and Its

Application to the Extreme Value Optimization Problem of Multivariable Function,” *Hindawi Comput. Intell. Neurosci.*, pp. 1–9, 2022, doi: <https://doi.org/10.1155/2022/1935272>.

- [10] X. Liu, R. Xu, and Y. Chen, “Securing Digital Media Integrity : A Survey of Watermarking and Manipulation Detection for Image Authentication Securing Digital Media Integrity : A Survey of Watermarking and,” pp. 1–35, 2025, doi: <https://doi.org/10.36227>.
- [11] X. Yang, Z. Zhang, Y. Jiao, and Z. Li, “A Robust Video Watermarking Algorithm Based on Two-Dimensional Discrete Fourier Transform,” *MDPI J. Electron.*, vol. 12, no. 15, 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/electronics12153271>.

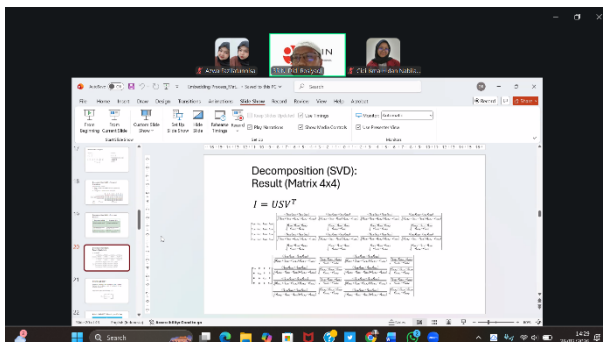
LAMPIRAN



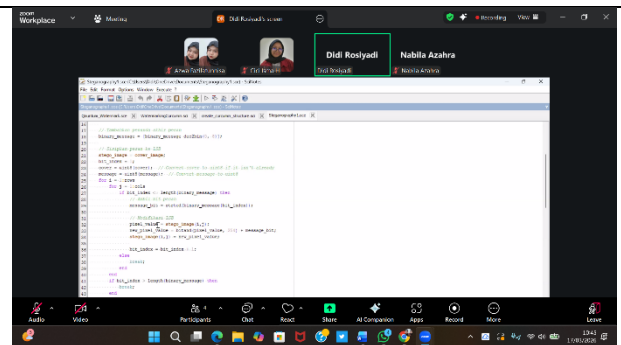
Gambar 1. Pengenalan dan Pemaparan Materi
Magang MBKM BRIN



Gambar 2. Sosialisasi *Safety Induction*



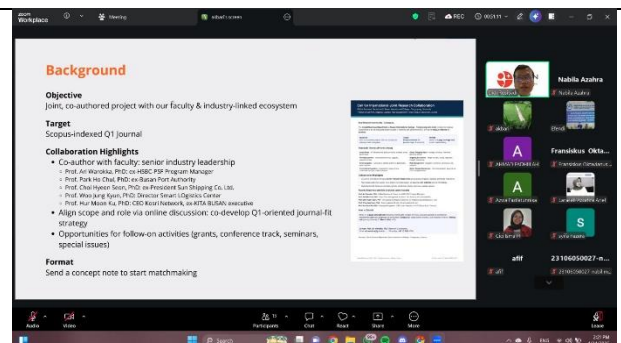
Gambar 3. Laporan Progres Magang 1



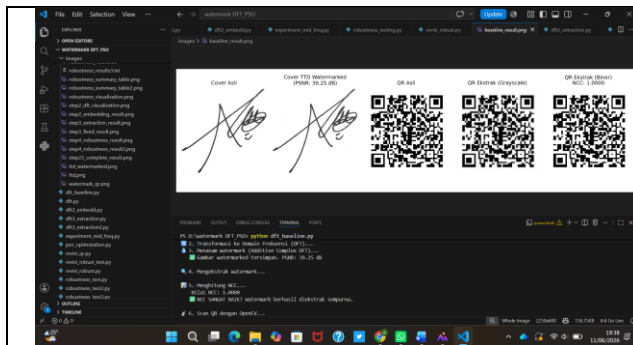
Gambar 4. Bimbingan Terkait Penggunaan
Scilab 5.4.1



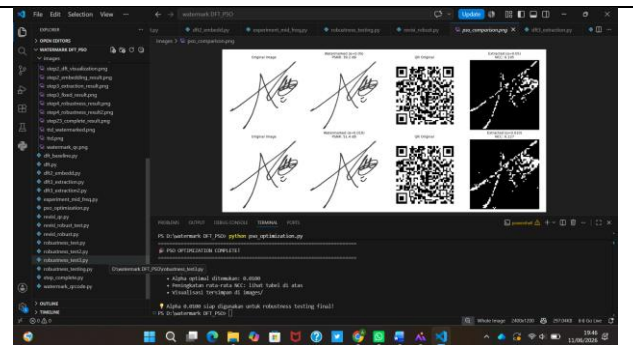
Gambar 5. Laporan Progres Magang 2



Gambar 6. Agenda Pertemuan SKR
Multimodal Protection



Gambar 7. Pengembangan Modul DFT dan Evaluasi Metrik PSNR-NCC



Gambar 8. Analisis Komparatif *Mid-Frequency Masking* dan Optimasi PSO



Gambar 9. Laporan Progres Magang 3



Gambar 10. Monitoring Mahasiswa Magang dari Kampus