



PENGEMBANGAN ALGORITMA KUANTUM
SEGMENTASI DAN KLASIFIKASI PADA CITRA
MOTIF “BATIK DAUR HIDUP” YOGYAKARTA

KUALIFIKASI

TATYA ATYANTI PARAMASTRI

99223139

PROGRAM DOKTOR TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS GUNADARMA

Juni 2024

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	i
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Batasan Penelitian	5
1.5 Kegunaan Penelitian.....	6
BAB II TELAAH PUSTAKA	
2.1 Batik	7
2.1.1 Kelahiran, Masa Kanak-Kanak, Sampai Dewasa...	8
2.1.2 Pernikahan	12
2.1.3 Kematian	16
2.2 Citra Digital.....	16
2.2.1 Citra Digital Bertipe Biner	18
2.2.2 Citra Digital Bertipe Grayscale	18
2.2.3 Citra Digital Bertipe Warna RGB	18
2.3 Pengolahan Citra	19
2.4 Deteksi Tepi	20
2.4.1 Operasi Roberts	20
2.4.2 Operator Perwitt.....	21
2.4.3 Operator Sobel.....	21
2.4.4 Operator Canny.....	22
2.5 Ekstraksi Fitur	23
2.5.1 Ekstraksi Fitur Warna.....	23

2.5.2 Matriks GLCM	24
2.6 Kecerdasan Buatan	24
2.7 Pembelajaran Mesin	25
2.8 Komputasi Kuantum	28
2.9 Confusion Matrix	29
2.10Rangkuman Penelitian Terdahulu	30

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian	34
3.2 Jadwal Penelitian	39

BAB 1

PENDAHULUAN

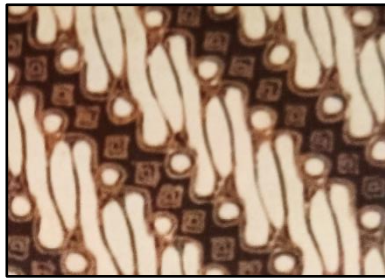
1.1 Latar Belakang

Teknologi digital memainkan peran penting dalam meningkatkan pelestarian, meningkatkan kesadaran masyarakat dan wadah pembelajaran warisan budaya. Batik adalah salah satu pusaka budaya milik Indonesia yang telah diakui oleh UNESCO sebagai “Mahakarya Pusaka Kemanusiaan Lisan dan Tak Benda” pada tahun 2009 silam. Kain batik diakui oleh UNESCO karena kain ini tidaklah hanya sebuah kain bercorak secara fisik, tetapi sebuah kain yang sarat dengan simbol serta makna dari doa dan harapan. Tidak lama setelah proklamasi kemerdekaan Indonesia, Presiden Ir. Soekarno mengangkat batik Jawa sebagai batik Indonesia. Salah satu daerah yang perkembangan batiknya sangat baik adalah Yogyakarta.

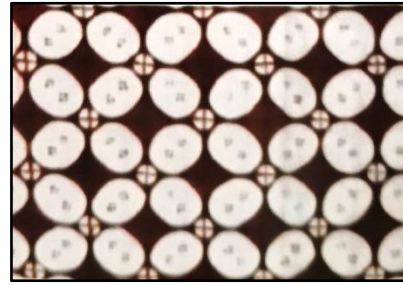
Di Yogyakarta sendiri, terdapat sebutan “Batik Daur Hidup Yogyakarta”. Hal ini menegaskan bahwa pada awalnya motif batik memiliki makna yang lahir seiring daur hidup manusia. Upacara ritual yang terkait dengan daur hidup sangat erat dengan masyarakat Jawa yang selalu mempertahankan keseimbangan dengan lingkungannya. Pelaksanaan upacara ritual ini dilakukan dengan menggunakan piranti dan bahan yang digunakan sehari-hari, termasuk kain batik. Daur hidup yang dikatakan adalah sejak janin dalam kandungan ibu, lahir, bertumbuh dan berkembang, menikah, sampai kembali ke alam baka (Sekar Jagad, 2015).

Terdapat ratusan motif batik khas Yogyakarta, dimana masing-masing motif memiliki maknanya tersendiri. Sebagai contoh pada motif yang umum dikenal seperti parang dan kawung, motif parang rusak merupakan pola dasar dari parang, motif ini memiliki makna perang melawan yang rusak, yaitu perilaku yang tidak baik. Motif ini memiliki berbagai jenis dan ukuran. Parang rusak dengan ukuran bidang parang lebih dari 8 cm (parang barong) hanya dikenakan oleh raja. Hingga saat ini motif batik ini masih dilarang dikenakan di area Puro Pakualaman Yogyakarta. Sedangkan motif kawung melambangkan ajaran tentang proses terjadinya kehidupan manusia, dengan manusia sebagai pusat yang ketika lahir

disertai dengan 4 saudara, yaitu darah, air ketuban, ari-ari, dan tali pusar yang selama dalam kandungan menjaga bayi supaya selamat lahir ke dunia. Motif kawung juga melambangkan harapan kehidupan yang mapan lahir dan batin. Batik ini khususnya dapat digunakan untuk acara kelahiran, tedhak siten, ruwatan, dan kematian. Kedua batik ini tidak disarankan untuk digunakan pada acara pernikahan.



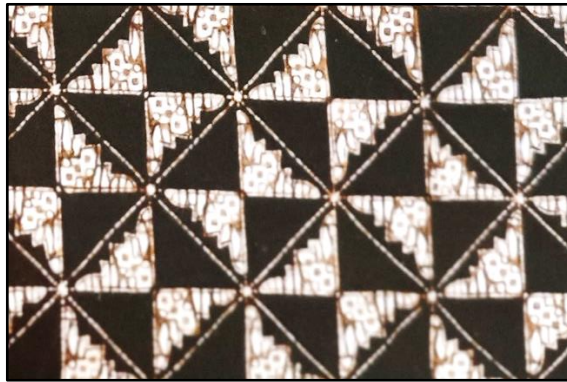
(a)



(b)

Gambar 1.1 (a) Batik Parang (b) Batik Kawung

Belakangan ini kain dan busana batik kembali marak digunakan pada acara-acara formal seperti pernikahan, lamaran, rapat penting dan lainnya. Terutama setelah tamu-tamu penting negara mengenakan busana batik pada acara kenegaraan, banyak kaum muda yang kembali memperhatikan trend busana batik. Namun pengetahuan tentang batik tidak diturunkan dalam pelajaran resmi, sehingga ilmu batik tidak menurun dengan baik pada masyarakat luas. Kurangnya pengetahuan mengenai makna dibalik motif batik sering kali membuat kesan yang ditampilkan menjadi kurang nyaman. Sebagai contoh, penggunaan kain batik dengan motif yang jarang dilihat sering kali menarik perhatian lebih supaya busana yang dikenakan tidak sama dengan tamu undangan lainnya. Namun ditemukan beberapa kejadian dimana tamu undangan pernikahan mengenakan kain batik slobog karena motif batik ini dianggap baru muncul, geometris, simple dan memiliki motif yang cantik. Secara umum lobog memiliki arti longgar atau lancar. Namun, kain batik slobog ini biasa digunakan pada acara kematian dengan harapan arwah akan kembali kealam keabadian dengan lancar karena berjalan di jalan yang longgar tanpa halangan. Sehingga kain ini kurang tepat untuk digunakan pada acara pernikahan.



Gambar 1.2 Batik Slobog

Tidak hanya dalam pemakaian batik, saat ini batik kombinasi atau batik modern juga marak dipasarkan. Namun menurut Dewan Ahli PPBI Sekar Jagad, Ibu Mari S. Condronegoro dalam beberapa pameran juga ditemukan batik kombinasi yang mengandung makna berseberangan yang digabungkan dalam satu kain. Selain itu, ketersediaan informasi mengenai batik daur hidup ini juga masih terbatas. Motif batik yang sangat beragam dengan maknanya yang berbeda-beda membuatnya sulit untuk dikenali dan dibutuhkan pengetahuan khusus. Dalam hal ini dibutuhkan peran teknologi untuk mempermudahnya. Salah satu alternatif yang dapat membantu adalah deteksi otomatis pada motif batik dengan melakukan sistem klasifikasi berbasis citra.

Klasifikasi berbasis citra adalah pengkategorian citra digital kedalam kelas-kelas berdasarkan informasi tertentu yang terdapat dalam citra tersebut. Informasi ini dapat berupa tekstur, warna, bentuk, dan lainnya. Beberapa studi telah melakukan klasifikasi terhadap motif batik dengan berbagai metode klasik dan deep learning, tetapi masih ditemukan beberapa kekuarangan yang terjadi. Salah satu yang paling berpengaruh adalah dataset yang tidak sesuai, tidak mendukung atau tidak akurat (Meranggi, Yudistira, dan Sari, 2022; Fitriani, Tresnawati, dan Sukriyansah, 2023; Anggoro, Marzuki, dan Supriyanti, 2024). Sehingga diperlukan pengambilan dataset primer dengan bantuan ahli. Selain itu kebanyakan penelitian klasifikasi berfokus pada metode CNN (Ilahi, dkk., 2022; Meranggi, Yudistira, dan Sari, 2022; Fitriani, Tresnawati, dan Sukriyansah, 2023; Anggoro, Marzuki, dan Supriyanti, 2024).

Berdasarkan beberapa penelitian CNN klasik memiliki kelemahan dalam memahami makna menyeluruh dari gambar, terutama yang berkaitan dengan hubungan antar bagian gambar yang berbeda. Selain itu, CNN klasik juga rentan terhadap overfitting, di mana model terlalu terlatih pada data pelatihan dan tidak dapat menggeneralisasi dengan baik ke data baru (Khan dkk, 2024). Maka dibutuhkan pengembangan salah satunya dengan memanfaatkan perkembangan teknologi saat ini sudah sampai dengan menggunakan komputasi kuantum.

Komputasi kuantum adalah bidang ilmu komputer yang memanfaatkan prinsip-prinsip mekanika kuantum untuk melakukan perhitungan. Berbeda dengan komputer klasik yang menggunakan bit (0 atau 1) sebagai unit informasi, komputer kuantum menggunakan qubit (quantum bit). Qubit dapat berada dalam keadaan superposisi, yang berarti qubit dapat mewakili 0 dan 1 secara bersamaan. Keadaan superposisi ini memungkinkan komputer kuantum untuk melakukan perhitungan paralel yang jauh lebih kompleks dibandingkan dengan komputer klasik, sehingga dapat meningkatkan kecepatan, akurasi serta efisiensi. Hingga saat ini ketersediaan perangkat keras kuantum masih menjadi permasalahan utama dalam menggunakan komputasi kuantum. Namun, TensorFlow menyediakan library untuk pembelajaran mesin kuantum-klasik yang disebut TensorFlow Quantum (TFQ). Penelitian mengenai algoritma kuantum dengan menggunakan komputer klasik ini telah banyak dilakukan, seperti Quantum Neural Network (QNN) (Mutiar, Slamet, Refianti, & Sutanto, 2020), HQCCNN (Wei Li, dkk., 2022), HQNN-Parallel (Senokosov, dkk., 2023). Implementasi algoritma kuantum terbukti pada komputer klasik ini sudah terbukti dapat dijalankan, tetapi tetap masih membutuhkan kemampuan perangkat yang baik. Beberapa penelitian melakukan downsampling yang besar hingga mencapai 4x4 pixels (Mutiar, Slamet, Refianti, & Sutanto, 2020; Wei Li, dkk., 2022). Namun ada beberapa penelitian yang bisa menaikkan hingga 14x14 pixels (Senokosov, dkk., 2023) dan 16x16 pixels (Mohsen & Tiwari, 2021).

Untuk dapat meningkatkan kinerja algoritma kuantum segmentasi dan klasifikasi citra perlu dilakukan studi literatur dan mempelajari algoritma kuantum lebih jauh. Dengan mempelajari dan membandingkan lebih banyak algoritma akan

meningkatkan peluang untuk dapat menemukan cara memperbaiki kekurangan dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Sehingga dapat diciptakan algoritma baru yang lebih baik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah penelitian ini adalah:

1. Bagaimana mengumpulkan informasi "batik daur hidup" Yogyakarta yang akurat?
2. Bagaimana menentukan kelas pada motif "batik daur hidup" Yogyakarta yang mewakilinya?
3. Bagaimana menerapkan algoritma kuantum pada segmentasi dan klasifikasi motif "batik daur hidup" Yogyakarta?
4. Bagaimana nilai akurasi yang dihasilkan dari model segmentasi dan klasifikasi motif "batik daur hidup" Yogyakarta dengan algoritma kuantum?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengumpulkan informasi "batik daur hidup" Yogyakarta yang akurat.
2. Menentukan kelas pada motif "batik daur hidup" Yogyakarta yang mewakilinya.
3. Mengembangkan algoritma kuantum pada segmentasi dan klasifikasi motif "batik daur hidup" Yogyakarta.
4. Mengukur nilai akurasi yang dihasilkan dari model segmentasi dan klasifikasi motif "batik daur hidup" Yogyakarta dengan algoritma kuantum.

1.4 Batasan Penelitian

Penelitian ini berfokus pada pengembangan algoritma kuantum segmentasi dan klasifikasi pada citra motif "batik daur hidup" Yogyakarta dengan menggunakan komputer klasik. Sehingga penelitian ini tidak mempertimbangkan

kompleksitas waktu. Adapun penentuan kelas motif batik akan mewakili batik daur hidup Yogyakarta yang akan ditentukan dengan melakukan wawancara dengan Dewan Ahli PPBI Sekar Jagad, Ibu Mari S. Condronegoro terlebih dahulu. Data set yang akan digunakan adalah data primer yang akan diambil secara langsung oleh peneliti dengan mengambil citra kain batik Yogyakarta.

1.5 Kontribusi Penelitian

Kontribusi pada bidang akademik adalah pengembangan algoritma kuantum baru untuk segmentasi dan klasifikasi citra batik. Penelitian ini juga memberikan kontribusi pada pelestarian batik Indonesia berupa pengembangan model klasifikasi motif batik, khususnya batik daur hidup Yogyakarta. Selain itu penelitian ini juga memberikan kontribusi bagi masyarakat dengan memperkenalkan lebih lanjut batik daur hidup Yogyakarta dan membuka jalan untuk pengembangan dan pengadaan sumber informasi makna serta filosofi motif batik. Sehingga dapat mencegah kesalahan dalam pemakaian motif batik, meluruskan kembali industri batik di Indonesia, dan mendukung kelestarian warisan budaya Indonesia.

BAB 2

TELAAH PUSTAKA

2.1 Batik

Batik merupakan pusaka budaya milik Indonesia yang telah diakui oleh UNESCO sebagai “Mahakarya Pusaka Kemanusiaan Lisan dan Tak Benda” pada tahun 2009 silam. Kata “batik” bila dihubungkan dengan kerta basa memiliki arti “ngembat titik-titik” atau “rambating titik-titik”, yang artinya membuat rangkaian titik. Dalam penyebutan sehari-hari Masyarakat Jawa, kata “batik” disebut dengan “bathik”, yang bila dihubungkan dengan kerta basa memiliki arti “ngembat thithik-thithik” atau “rambating thithik-thithik”, yang artinya membuat rangkaian sedikit demi sedikit. Selanjutnya kata “mbathik” dalam masyarakat Jawa diartikan sebagai menuliskan malam menggunakan canthing dan membuat motif pada kain mori yang akhirnya menjadi karya ragam hias tertentu, melalui proses yang dapat menerangkan dan menjelaskan sebab ragam hias tersebut dibuat (Sekar Jagad, 2015).

Batik Indonesia merupakan tradisi khas yang mewujudkan dua dimensi budaya, yaitu metode dan spiritual. Sebagai sebuah metode, batik menggunakan teknik pewarnaan lilin ini telah dikembangkan sejak 5000 SM. Metode pewarnaannya menggunakan pewarna alami yang diperoleh dari budidaya tanaman herbal lokal sehingga menghasilkan warna yang khas. Sedangkan untuk tujuan spiritual, tekstil batik tulis yang ditujukan untuk persembahan dalam upacara keagamaan memiliki unsur-unsur yang lebih mendalam, karena motif yang diungkapkan pada kain batik menyampaikan doa dan harapan pada upacara tersebut. Oleh karena itu, batik Indonesia dicantumkan sebagai mahakarya “Lisan” dalam daftar “Warisan Budaya Tak Benda Kemanusiaan” UNESCO pada tanggal 2 Oktober 2009. Di balik dua komponen seni dan sosial, batik Indonesia memiliki empat nilai budaya luar biasa, yaitu (Permatasari, 2022):

1. Makna filosofis di balik corak khas batik yang sesuai dengan sejarah masing-masing daerah.
2. Keaslian teknik produksi pewarnaan malam.

3. Aturan pemakaian dalam konteks tertentu.
4. Pemberdayaan sosial yang diwujudkan dalam valorisasi kegiatannya.

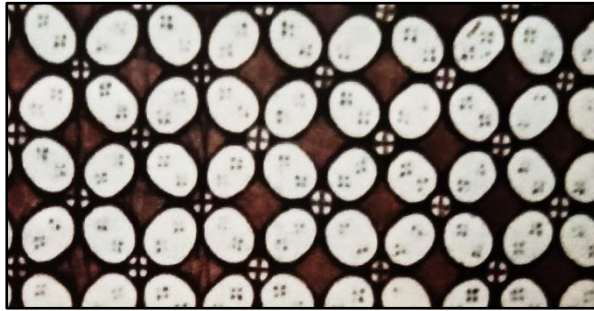
Tidak lama setelah proklamasi kemerdekaan Indonesia, Presiden Ir. Soekarno mengangkat batik Jawa sebagai batik Indonesia. Masyarakat Jawa yang selalu mempertahankan keseimbangan dengan lingkungannya melakukan upacara ritual dengan menggunakan piranti dan bahan yang digunakan sehari-hari, termasuk kain batik. Di Yogyakarta sendiri, terdapat sebutan “Batik Daur Hidup Yogyakarta”. Kain batik ini adalah kain-kain yang digunakan pada upacara ritual yang dilakukan sejak janin dalam kandungan ibu, lahir, bertumbuh dan berkembang, menikah, sampai kembali kealam baka (Sekar Jagad, 2015).

2.1.1 Kelahiran, Masa Kanak-Kanak, Sampai Dewasa

Terdapat berbagai momen yang menggunakan kain batik pada masa kelahiran, masa kanak-kanak, sampai dewasa. Upacara yang dilaksanakan pada masa tersebut membutuhkan kain batik dengan motif berbeda-beda sesuai dengan doa dan harapan yang ingin dipanjatkan (Sekar Jagad, 2015).

1. Kelahiran dan perawatan ari-ari

Pada masa kelahiran dan perawatan ari-ari, kain batik digunakan sebagai kopohan dan gedongan. Kopohan adalah kain yang digunakan sebagai alas bayi ketika ibu melahirkan. Sedangkan gedongan adalah kain yang digunakan untuk membungkus wadah (kendil) yang digunakan untuk menyimpan ari-ari bayi (plasenta) yang akan dikubur didalam tanah. Kain batik yang digunakan pada masa ini adalah motif dengan makna yang baik, dengan harapan hal baik tersebut akan dialami oleh sang anak. Motif yang biasa digunakan sebagai kain kopohan dan gedongan adalah parang, kawung, trunrum, wahyu temurun, semen rama, sidamukti, sidaluhur, sidamulya, sida asih.



Gambar 2.1. Motif Batik Kawung Bribil

Motif batik kawung menupakan pola batik kuno dengan susunan dari 4 bentuk bulat atau elips yang disusun diagonal dengan titik pusat di Tengah. Motif ini melambangkan ajaran tentang proses terjadinya kehidupan manusia, dengan manusia sebagai pusat yang ketika lahir disertai dengan 4 saudara, yaitu darah, air ketuban, ari-ari, dan tali pusar yang selama dalam kandungan menjaga bayi supaya selamat lahir ke dunia. Motif batik ini cenderung dapat digunakan dalam berbagai acara.

2. Menggendong Bayi

Semasa bayi, setiap hari bayi akan digendong dengan menggunakan kain. Masyarakat tradisional juga menggunakan kain batik dengan makna baik untuk menggendong bayi. Adapun motif yang biasa digunakan sebagai kain gendongan adalah parang rusak, kawung, semen sawat manak, truntum, sida asih, cakar ayam, panji pura atau slimun.

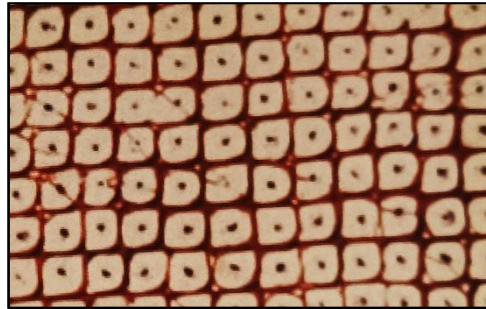


Gambar 2.2. Motif Batik Sida Asih

3. Tedhak Siten

Upacara tedhak siten adalah upacara turun tanah dimana pertama kalinya anak menginjakkan kaki ke tanah tempatnya berpijak selama hidup. Upacara ini dilakukan ketika anak berusia 7-8 bulan. Upacara ini dihadiri oleh ibu-ibu dan kaum perempuan karena pada usia itu sang anak masih dalam asuhan kaum

perempuan. Anak akan menggunakan kain batik dan surjan (anak laki-laki) atau kain batik dan kebaya (anak perempuan). Adapun motif kain batik yang biasa digunakan sang anak antara lain, parang klithik, gringsing, kawung.



Gambar 2.3. Motif Batik Gringsing

4. Khitanan atau supitan

Masyarakat Jawa Tengah biasanya melakukan khitanan pada anak laki-laki berusia 12-15 tahun yang telah siap untuk di khitan. Namun ada juga yang melakukannya ketika anak masih bayi. Setelah di khitan biasanya anak tidak langsung menggunakan celana, melainkan kain untuk beberapa hari. Kain batik yang digunakan sang anak pada upacara khitanan adalah yang bermotif kecil. Beberapa motif yang biasa digunakan adalah parang kusuma, parang parikesit, parang pamor, parang gondosuli, parang klithik, parang peniti, udan liris.

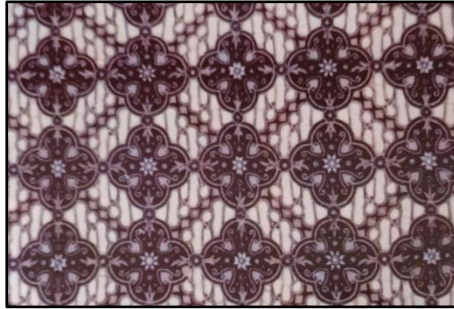


Gambar 2.4. (a) Motif Batik Parang Pamor (b) Motif Batik Parang Gondosuli

5. Tetesan

Tetesan biasanya dilaksanakan pada anak perempuan berusia 6-7 tahun. Namun saat ini biasanya dilakukan ketika bayi lahir. Tetesan adalah semacam supitan untuk anak perempuan. Busana yang dikenakan sang anak pada upacara tetesan di Keraton adalah kain cinde, yang pada perkembangannya di Yogyakarta kain ini menjadi batik dengan pola nitik. Sedangkan di masyarakat

umum, kain batik yang biasa digunakan sang anak pada upacara tetesan adalah kawung picis, parang kusuma, gringsing bintang atau gringsing lindri, dan motif ceplok kecil-kecil.



Gambar 2.5. Motif Batik Sri Gendari

6. Tarapan

Upacara tarapan adalah upacara yang diadakan bagi anak perempuan yang mengalami haid pertamanya. Setelah mengalami haid pertama ini sang anak akan dianggap sudah memasuki masa remaja dewasa. Pada upacara ini anak akan dimandikan (siraman) dengan menggunakan kain mori, dan setelahnya mengenakan busana dengan kain batik bermotif kecil. Motif kain batik yang biasa digunakan oleh masyarakat umum adalah grompol, parang centhung atau parang canthal, parang klithik mangkara, dan parang klithik seling puspa.



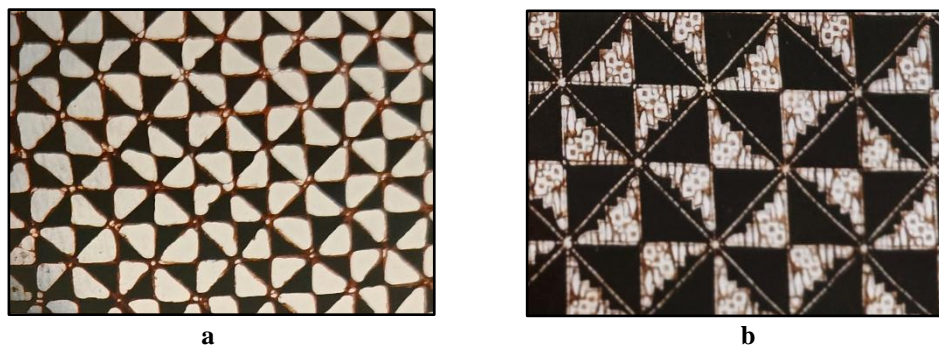
Gambar 2.6. Motif Batik Parang Centhung

7. Ruwatan

Upacara ruwatan dilakukan untuk membebaskan anak yang dianggap *sukerta* atau ada kesulitan yang berpotensi mengganggu di kemudian hari. Pada cerita pewayangan Bathara Kala yang berwujud raksasa memiliki perilaku yang tidak baik, dan gemar memakan segalanya termasuk manusia. Kemudian hal tersebut dicegah oleh Bathara Guru (ayahnya) dengan membatasi hanya anak *sukerta* saja yang boleh dimagsa. Ruwatan dilakukan untuk mencegah anak atau orang

sukerta agar tidak dimangsa. Ada 36 macam kondisi sukerta bawaan dan 64 macam kondisi sukerta karena perilaku yang kurang wajar. Contoh kondisi sukerta bawaan adalah anak tunggal, anak kembar, dan dua bersaudara. Sedangkan contoh kondisi sukerta karena perilaku tidak wajar adalah anak yang memecahkan pipisan (alat tumbuk jamu yang terbuat dari batu), anak atau orang yang suka bergelayutan di pintu rumah, orang yang suka menyapu di malam hari dan masih banyak lagi.

Upacara ruwatan diadakan dengan menggelar pagelaran wayang kulit dengan cerita murwakala. Pada upacara tersebut orang yang diruwat akan berpuasa, kemudian dalang membacakan mantra dan dilaksanakan pemotongan kuku serta rambut orang yang diruwat untuk di *larung* (dibuang ke laut atau sungai). Kain batik digunakan untuk disampirkan di atas kelir wayang (biasanya 9 buah). Upacara ini dilakukan sebagai simbol untuk mengingatkan bahwa ada hal-hal yang harus diperhatikan pada anak atau orang dalam golongan *sukerta*. Sebagai contoh anak tunggal akan menjadi manja bila dibiarkan seenaknya atau egois karena terlalu disayang, dan bisa menjadi sulit bersosialisasi. Adapun motif yang dapat digunakan pada acara ruwatan adalah parang rusak, poleng, kambing secukil, kawung, semen latar putih (semen purbondaru), semen latar hitam (semen bomdhet), pola ceplok (lung slop), tambal pamiluta, dan slobog.



Gambar 2.7. (a) Motif Batik Kambal Secukil (b) Motif Batik Slobong

2.1.2 Pernikahan

Pernikahan terjadi ketika seseorang sudah beranjak dewasa, matang, dan mandiri untuk kemudian terbentuk sebuah keluarga baru. Sesuai tradisi yang

berkembang dan turun temurun, dilaksanakan ritual atau upacara tertentu yang mengiringi pernikahan tersebut.

1. Upacara Pernikahan

Pada upacara pernikahan, kain batik digunakan sebagai busana dengan mengikuti atau menyesuaikan dengan *pakem* (ketentuan) yang berlaku. Sejak dulu, ritual atau upacara yang dilakukan oleh Keraton (dalam hal ini Keraton Mataram) dijadikan acuan oleh masyarakat, meski tidak seluruhnya. Hal ini dikarenakan selain menjadi pusat pemerintahan di Yogyakarta, Keraton adalah pusat kebudayaan.

a. Lamaran

Dahulu pakaian yang dikenakan pada lamaran memiliki aturannya sendiri. Di Yogyakarta biasanya Masyarakat umum menggunakan motif sawat manak dan kuda rante. Sedangkan untuk golongan luhur (keraton) akan mengenakan motif batik parang, seperti parang kusuma dan parang parikesit.



Gambar 2.8. Motif Batik Kuda Rante

b. Peningsetan

Acara peningsetan memiliki arti mengikat dan tidak boleh berpaling, biasanya acara ini disimbolkan dengan tuukar cincin. Sering kali acara lamaran dan tukar peningsetan (saat ini biasa disebut tunangan) dilaksanakan secara bersamaan. Pada acara ini pihak pria akan memberikan kelengkapan yang berupa symbol sandang dan pangan. Batik yang dikenakan oleh pria yang melamar dan wanita yang menerima lamaran adalah motif batik dengan makna yang baik.

c. Menjelang Akad Nikah dan Panggih

Setelah hari pernikahan disepakati, calon pengantin akan dipingit selama lima hari dengan tujuan menjaga kesehatan dan keselamatan calon pengantin, serta agar calon pengantin dapat berkonsentrasi dalam menjalankan saat-saat bersejarah ini. Kain batik yang dikenakan oleh calon mempelai wanita pada waktu ini adalah motif nitik nagasari atau nitik cakar. Disisi lain calon pengantin pria akan mengenakan motif yang sesuai atau memiliki makna baik seperti grompol atau



Gambar 2.9. Motif Batik Nitik Nagasari

Upacara selanjutnya adalah siraman atau memandikan calon pengantin pria dan wanita pada pagi hari atau siang hari secara terpisah (di kediaman masing-masing), satu hari sebelum hari pernikahan. Siraman dilakukan oleh ibu-ibu dan bapak-bapak dari keluarga calon mempelai sebanyak tujuh atau sembilan orang. Busana yang dikenakan calon pengantin adalah kain mori putih dengan kain batik yang dikenakan di dalamnya atau diselimutkan. Motif yang digunakan adalah yang mengandung makna baik seperti grompol, sidamukti, sidaluhur, sida asih, semen sinom, tanjung gunung, dan nagasari.



Gambar 2.10. Motif Batik Tanjung Gunung

Malam hari menjelang upacara pernikahan, diadakan acara midodareni. Calon pengantin pria datang ke rumah calon mertuanya, meski pada waktu

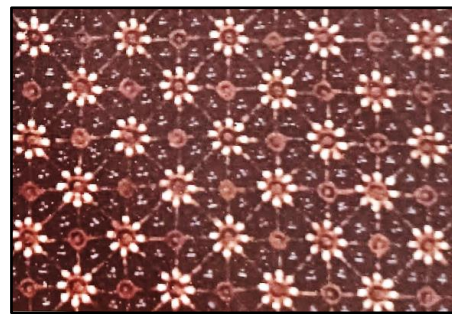
tersebut tidak diperbolehkan bertemu dengan calon pengantin wanita. Kedatangan calon pengantin pria ini dengan maksud memberikan pesan kesehatan dan kesiapan untuk melaksanakan upacara pernikahan esok hari. Batik yang dikenakan calon pengantin pria adalah kuda rante atau truntum.

d. Hari Ijab atau Akad Nikah Pengantin

Hari pernikahan akan dilaksanakan upacara akad dan panggih, dimana batik yang dikenakan kedua pengantin adalah sama. Di Keraton Yogyakarta, pengantin akan mengenakan busana kebesaran dengan paes ageng. Kain batik yang dikenakan berupa kampuh dengan tengahan putih, bermotif semen rama, semen sawat atau semen ageng. Sedangkan masyarakat umum menggunakan motif batik truntum, sidamukti, sidaluhur, dan sida asih. Kemudian orang tua mempelai mengenakan motif truntum atau nitik cakar.



a



b

Gambar 2.11. (a) Motif Batik Semen Rama (b) Motif Batik Truntum

2. Kehamilan 7 Bulanan (Mitoni)

Upacara ini dilaksanakan pada usia tujuh bulan kehamilan pertama seorang ibu. Calon ibu akan dimandikan oleh tujuh ibu yang diuakan atau dihormati. Sebelum melakukan upacara, calon ibu akan mengenakan kemben jumputan hitam putih dan kain batik dengan motif wahyu temurun.



Gambar 2.12. Motif Batik Wahyu Temurun

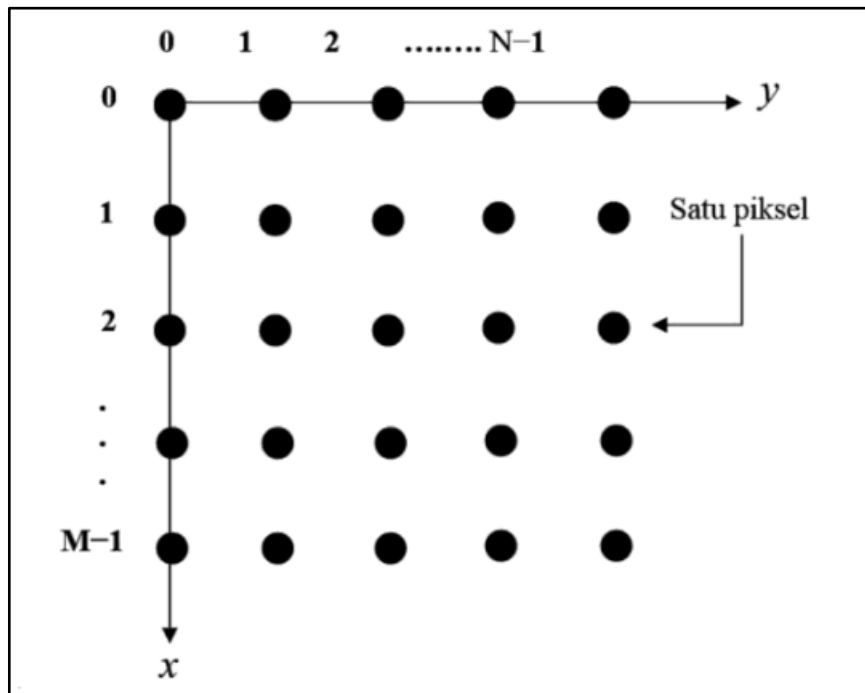
2.1.3 Kematian

Kain batik turut digunakan dalam upacara kematian. Kain ini digunakan sebagai penutup jenazah. Dahulu ketika masyarakat masih sering menggunakan kain batik dalam kehidupan sehari-hari dan memiliki kain batik kesayangan, kain tersebut akan digunakan sebagai penutup. Namun bila tidak ada kain batik kesayangan atau pesan tertentu, maka terdapat kain batik yang biasa digunakan, yaitu kawung dan slobong.

2.2 Citra Digital

Citra adalah suatu gambar atau kemiripan dari suatu objek. Citra analog tidak dapat direpresentasikan dalam komputer, sehingga citra analog butuh dikonversi menjadi citra digital terlebih dahulu. Citra digital adalah citra yang dapat diolah oleh komputer. Citra digital biasanya langsung didapatkan dari peralatan digital yang telah memiliki sistem sampling dan kuantisasi di dalamnya. Sistem sampling merupakan sistem yang merubah citra menjadi citra digital dengan membagi citra analog menjadi M baris dan N kolom, sehingga menjadi citra diskrit (tidak kontinu). Sedangkan sistem kuantisasi adalah sistem yang mengubah intensitas analog menjadi intensitas diskrit, sehingga memungkinkan untuk membentuk gradasi warna yang sesuai kebutuhan pada citra (Andono, Sutojo, & Muljono, 2018).

Hasil dari sampling dan kuantisasi suatu citra adalah bilangan real yang membentuk sebuah matriks dengan M baris dan N kolom, sehingga dapat dikatakan ukuran suatu citra adalah $M \times N$. Pertemuan antara baris dan kolom tersebut disebut dengan piksel. Piksel memiliki dua parameter, yaitu koordinat dan intensitas (warna).



Gambar 2.13. Sistem Koordinat yang Mewakili Citra
(Sumber: Andono, Sutojo, & Muljono, 2018)

Nilai yang terdapat pada koordinat (x,y) seperti Gambar .. adalah $f(x,y)$, yaitu besar intensitas atau warna dari piksel pada titik tertentu. Hal ini berarti sebuah citra digital dapat ditulis dalam bentuk matriks seperti pada Gambar 2.13. Maka secara matematis suatu citra digital dapat ditulis sebagai fungsi intensitas $f(x,y)$. Dimana harga x sebagai baris dan y sebagai kolom merupakan koordinat posisi dan $f(x,y)$ adalah nilai fungsi dari setiap titik (x,y) yang menyatakan besar intensitas citra atau tingkat keabuan atau warna dari piksel pada titik tersebut (Andono, Sutojo, & Muljono, 2018).

$$f(x,y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,M-1) \\ f(1,0) & \dots & \dots & f(1,M-1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f(N-1,0) & f(N-1,1) & \dots & f(N-1,M-1) \end{bmatrix}$$

Nilai piksel menunjukkan intensitas tingkat keabuan dengan kisaran antara 0 sampai 255. Nilai piksel menyatakan warna citra pada titik tersebut. Terdapat empat tipe dasar citra digital, yaitu citra digital bertipe biner, grayscale, dan warna RGB atau *true colour* (Parenreng & Hamzidah, 2023).

2.2.1 Citra Digital Bertipe Biner

Citra digital bertipe biner memiliki piksel yang hanya memiliki dua nilai, yaitu 0 dan 1. Dimana nilai 0 mewakili warna hitam, dan nilai 1 mewakili nilai putih. Karena hanya memiliki 2 nilai, maka setiap piksel hanya memiliki ukuran 1 bit. Hal ini membuat citra digital bertipe biner menjadi sangat efisien dalam proses penyimpanannya (Parenreng & Hamzidah, 2023).



a

1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
0	1	1	1	1

b

Gambar 2.14. (a) Citra Bertipe Biner (b) Nilai Biner dari Citra Biner
(Sumber: Madenda, 2015)

2.2.2 Citra Digital Bertipe Grayscale

Citra digital dengan tipe *grayscale* (*gray-level* atau skala keabuan) memiliki piksel yang mewakili derajat keabuan dengan nilai antara 0 yang mewakili warna hitam, sampai 255 yang mewakili warna putih (Parenreng & Hamzidah, 2023). Dengan jangkauan 0 sampai 255, setiap piksel membutuhkan ukuran 8 bit atau 1 byte memori (Andono, Sutojo, & Muljono, 2018).



a

116	110	109	101	103
97	105	108	104	90
96	99	111	106	110
81	86	106	105	96
66	78	97	99	91

b

Gambar 2.15. (a) Citra Bertipe Skala Keabuan (b) Nilai Luminance Citra Skala Keabuan
(Sumber: Madenda, 2015)

2.2.3 Citra Digital Bertipe Warna RGB atau True Color

Citra digital bertipe warna RGB memiliki piksel yang terdiri dari tiga komponen warna, yaitu *Red* (R), *Green* (G), dan *Blue* (B). Warna setiap komponen ditentukan oleh kombinasi dari intensitas warna merah, hijau, dan biru (Andono,

Sutojo, & Muljono, 2018). Setiap komponen warna memiliki jangkauan nilai antara 0 sampai 255 dengan ukuran 8 bit. Dengan begitu tipe warna RGB memiliki total kemungkinan warna sebanyak 255^3 atau 16.777.216, sehingga total ukuran bit untuk setiap pikselnya adalah 24 bit (8 bit R, 8 bit G, dan 8 bit B) (Parenreng & Hamzidah, 2023).

Secara matematis, citra digital bertipe warna RGB atau true color direpresentasikan dalam fungsi matriks tiga dimensi, yaitu $f(n,m,k)$. Dimana n menunjukkan baris, m menunjukkan kolom yang merepresentasikan posisi koordinat piksel, dan k merepresentasikan komponen warna merah ($R=1$), hijau ($G=2$) dan biru ($B=3$).

88	73	73	56	40
134	129	127	114	115
97	90	88	75	80
79	75	73	62	55
110	122	126	120	97
73	84	88	84	66
81	77	84	83	78
107	112	127	121	123
77	81	94	90	91
79	77	78	79	76
89	93	119	119	107
63	69	89	89	79
81	71	91	70	69
71	84	106	110	100
41	55	78	81	75

97	90	88	75	80
73	84	88	84	66
134	129	127	114	115
110	122	126	120	97
88	73	73	56	40
79	75	73	62	55
81	77	84	83	78
79	77	78	79	76
81	71	91	70	69

Gambar 2.16. (a) Representasi Nilai 3 Komponen Warna Setiap Piksel
(b) Tiga Matriks yang Merepresentasikan Komponen Warna RGB
 (Sumber: Madenda, 2015)

2.3 Pengolahan Citra

Menurut kamus besar bahasa Indonesia, pengolahan citra adalah suatu cara atau proses mengolah sesuatu supaya menjadi lain atau menjadi lebih sempurna. Teknik pengolahan citra mentransformasikan citra menjadi citra lain dengan input berupa citra dan keluaran dengan citra yang memiliki kualitas lebih baik dari sebelumnya. Pengolahan citra juga mencakup pengenalan pola yang meniru kemampuan manusia untuk mengenali objek-objek yang dilihat dengan mengklasifikasi objek-objek yang dilihat di sekitarnya, sehingga dapat membedakan satu objek dengan objek lainnya. Bidang lainnya adalah komputer

vision yang merupakan salah satu teknologi yang secara otomatis mengintegrasikan beberapa proses untuk persepsi visual, seperti akuisisi citra, pengolahan citra, klasifikasi pengenalan dan membuat keputusan. Komputer vision membutuhkan database yang besar karena membutuhkan banyak informasi untuk mendapatkan setiap kemungkinan sesuai dengan tugas yang diberikan. Kecerdasan buatan ini membutuhkan data pelatihan dengan ribuan input referensi visual (Parenreng & Hamzidah, 2023).

2.4 Deteksi Tepi

Tepi pada suatu citra diartikan sebagai perbedaan intensitas atau warna antara satu piksel dengan piksel tetangga terdekatnya. Semakin tinggi perbedaannya, semakin jelas tepi tersebut (Madenda, 2015). Pendeteksian tepi berdasarkan kontur atau tepi memanfaatkan perbedaan intensitas piksel yang tajam antara objek dan latar belakang untuk memisahkan objek. Teknik yang dapat digunakan pada deteksi tepi adalah seperti operator Sobel, Canny, atau operator gradient. Pendeteksian tepi citra penting dalam pengolahan citra, seperti pengenalan objek, analisis morfologi, pemrosesan citra medis, dan pengenalan pola. Deteksi tepi memungkinkan analisis yang dilakukan lebih fokus dan pemrosesan lebih terarah terhadap area yang diinginkan (Mutaqin, 2023).

2.4.1 Operator Roberts

Operator Roberts mewakili salah satu metode tertua untuk menghitung gradien pada gambar. Meskipun metode ini paling sederhana untuk diterapkan, namun fungsinya terbatas karena tidak simetris (Cuevas & Rodríguez, 2024). Operator ini merupakan turunan pertama dari fungsi citra namun arah sumbu yang digunakan adalah diagonal, yaitu 45° dan 135° (Madenda, 2015).

-1	0	0	-1
0	1	1	0

(Gonzalez & Woods, 2018)

2.4.2 Operator Perwitt

Kernel Prewitt lebih sederhana untuk diimplementasikan dibandingkan kernel Sobel, namun perbedaan komputasi yang kecil di antara keduanya biasanya tidak menjadi masalah (Gonzalez & Woods, 2018). Perwitt dan Sobel, keduanya merupakan sebuah operator yang menggabungkan filter perata dan fungsi turunan pertama citra. Operator ini menggunakan filter rata-rata dengan semua elemennya bernilai 1, dengan asumsi bahwa tiga elemen kolom atau baris memberikan kontribusi intensitas yang sama pada titik dimana gradien dihitung (Madenda, 2015). Kekurangan operator perwitt terdapat pada *noise* yang lebih banyak dibandingkan Sobel (Cuevas & Rodríguez, 2024).

-1	-1	-1	-1	0	1
0	0	0	-1	0	1
1	1	1	-1	0	1

(Gonzalez & Woods, 2018)

2.4.3 Operator Sobel

Sobel memiliki karakteristik peredam *noise* yang lebih baik membuatnya lebih sering digunakan dari pada operator perwitt. Hal ini dikarenakan peredam *noise* merupakan isu yang penting untuk diperhatikan (Gonzalez & Woods, 2018). Sobel menggunakan filter dimana pada posisi titik tengah dari tiga elemen matriksnya bernilai 2, sedangkan tetangganya bernilai 1. Dengan asumsi bahwa semakin menjauh piksel tetangga dari titik perhitungannya maka semakin kecil kontribusi intensitasnya (Madenda, 2015).

-1	-2	-1	-1	0	1
0	0	0	-2	0	2
1	2	1	-1	0	1

(Gonzalez & Woods, 2018)

2.4.4 Operator Canny

Metode yang terkenal untuk mendeteksi tepi pada gambar adalah Canny. Metode ini didasarkan pada penerapan serangkaian filter dalam arah dan resolusi berbeda, yang akhirnya digabungkan menjadi satu hasil. Metode ini bertujuan untuk mencapai tiga tujuan berbeda, yaitu (Cuevas & Rodríguez, 2024):

1. Meminimalkan jumlah tepi palsu,
2. Memperbaiki lokasi tepi pada gambar,
3. Menghasilkan gambar yang lebar tepinya hanya satu piksel.

Canny pada dasarnya adalah filter berdasarkan metode gradien, namun juga menggunakan turunan kedua atau Laplacian sebagai kriteria untuk lokasi tepi. Seringkali, algoritma ini digunakan dalam bentuknya yang sederhana, yaitu hanya mengatur parameter pemulusan (Cuevas & Rodríguez, 2024).

Bila dibandingkan dengan deteksi tepi lainnya, Canny adalah salah satu algoritma deteksi tepi yang paling populer dan banyak digunakan. Algoritma ini menghasilkan deteksi tepi yang akurat dan kuat, bahkan dalam gambar yang memiliki noise. Algoritma Canny terdiri dari beberapa langkah utama, yaitu (Sundani, 2019):

1. Smoothing

Citra dihaluskan menggunakan filter Gaussian untuk mengurangi noise. Filter Gaussian digunakan untuk mengaburkan gambar, sehingga membantu mengurangi noise yang dapat mengganggu deteksi tepi.

2. Komputasi magnitudo gradien

Magnitudo gradien dihitung untuk setiap piksel dalam citra. Magnitudo gradien mewakili kekuatan tepi pada piksel tersebut.

3. Non-Maximum Suppression

Tepi non-maksimum ditekan untuk memastikan bahwa hanya tepi yang paling kuat yang tersisa. Hal ini dilakukan dengan membandingkan magnitudo gradien piksel dengan magnitudo gradien piksel tetangganya. Jika magnitudo gradien piksel lebih kecil dari magnitudo gradien piksel tetangganya, maka piksel tersebut dianggap sebagai tepi non-maksimum dan ditekan.

4. Hysteresis

Tepi yang kuat digunakan sebagai benih untuk melacak tepi yang lebih lemah. Hal ini dilakukan dengan menggunakan dua ambang batas, yaitu ambang batas bawah dan ambang batas atas. Piksel yang memiliki magnitudo gradien di atas ambang batas atas dianggap sebagai tepi yang pasti. Piksel yang memiliki magnitudo gradien antara ambang batas bawah dan ambang batas atas dianggap sebagai tepi yang mungkin. Tepi yang mungkin dilacak dari tepi yang pasti dengan mengikuti jalur piksel yang memiliki magnitudo gradien di atas ambang batas bawah.

2.5 Ekstraksi Fitur

Ekstraksi fitur atau ciri merupakan pengambilan karakteristik objek yang dapat digunakan sebagai pembeda dari objek-objek lainnya. Karakter ini nantinya akan dipakai sebagai parameter untuk menggambarkan sebuah objek. Nilai dari parameter tersebut kemudian akan dijadikan sebagai data masukan dalam proses klasifikasi (Andono, Sutojo, & Muljono, 2018). Ekstraksi fitur biasanya dilakukan setelah segmentasi, yang terdiri dari deteksi fitur dan deskripsi fitur. Deteksi fitur mengacu pada pencarian fitur dalam suatu gambar, wilayah, atau batas. Deskripsi fitur memberikan atribut kuantitatif pada fitur yang terdeteksi. Misalnya, kita dapat mendeteksi sudut-sudut pada batas wilayah, dan mendeskripsikan sudut-sudut tersebut berdasarkan orientasi dan lokasinya (Gonzalez & Woods, 2018).

2.5.1 Ekstraksi Fitur Warna

Fitur atau ciri warna digunakan apabila objek yang akan dikenali mempunyai warna yang berbeda. Parameter warna didapat dengan cara menormalisasi setiap komponen warna RGB pada citra. Normalisasi komponen warna merah, hijau, dan biru dapat dinormalisasi dengan menggunakan persamaan berikut (Andono, Sutojo, & Muljono, 2018).

$$r = \frac{R}{R + G + B} \quad g = \frac{G}{R + G + B} \quad b = \frac{B}{R + G + B}$$

2.5.2 Matriks GLCM (*Grey Level Co-occurrence Matrix*)

Teknik GLCM bekerja dengan membuat matriks hubungan (matriks kookurensi) dari citra dan menentukan ciri dari matriks tersebut. Matriks GLCM adalah salah satu sumber ciri yang paling populer dan efektif dalam analisis tekstur. Matriks dari suatu citra $f(x,y)$ adalah matriks dua dimensi dimana setiap elemen dari matriks mewakili probabilitas terjadinya bersama tingkat intensitas x dan y pada jarak d dan sudut θ . Terdapat empat arah yang biasa digunakan untuk membuat matriks GLCM, yaitu arah sudut 0° , 90° , 45° , dan 135° . Berikut contoh matriks GLCM (Andono, Sutojo, & Muljono, 2018).

2.6 Kecerdasan Buatan

Kecerdasan buatan merupakan sebuah bidang ilmu yang fokus pada pengembangan *intelligence agent*. Bidang kajian utama kecerdasan buatan adalah entitas atau *agent* yang memiliki kemampuan berinteraksi dengan lingkungan sekitarnya dalam bentuk menerima data dan melakukan sejumlah aksi untuk meningkatkan jumlah probabilitas pencapaian tujuan yang telah ditetapkan. Secara singkatnya kecerdasan buatan meniru kemampuan manusia untuk melakukan pembelajaran dan mengatasi masalah (Heryadi dan Wahyono, 2021).

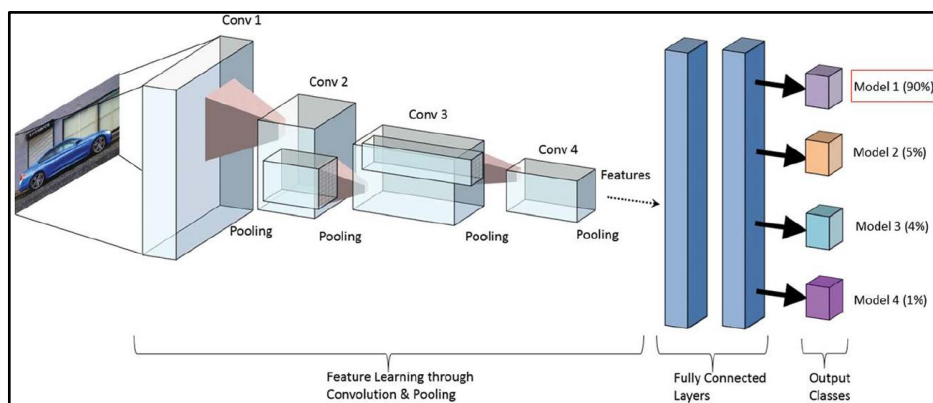
Pembelajaran mesin (*machine learning*) dan pembelajara mendalam (*deep learning*) merupakan cabang ilmu dari kecerdasan buatan yang fokus pada studi dan pengembangan model yang bisa belajar dari data tanpa diprogram secara eksplisit. Model yang dihasilkan biasanya kemudian akan digunakan untuk melakukan pengambilan keputusan atau prediksi. Saat ini pembelajaran mesin dan pembelajaran mendalam sering digunakan pada bidang Industri untuk system rekomendasi, analisis sentimen, mesin pencarian, sistem untuk mengenali citra medis, dan lainnya (Heryadi dan Wahyono, 2021).



Gambar. Cabang Ilmu Kecerdasan Buatan

2.7 Pembelajaran Mendalam Sebagai Jaringan Syaraf

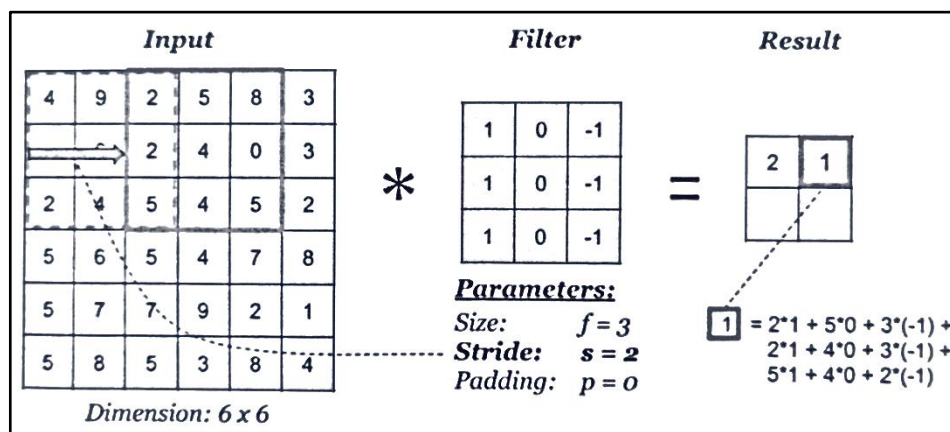
Pembelajaran mendalam merupakan sebuah metode pembelajaran terhadap data dengan tujuan untuk membuat representasi data secara bertingkat menggunakan beberapa lapisan pengolahan data. Secara umum, model pembelajaran mendalam serupa dengan struktur jaringan syaraf, tetapi pembelajaran mendalam berbeda dari jaringan syaraf biasa. Model jaringan syaraf biasa hanya memiliki beberapa puluh lapisan dimana setiap neuron memiliki sebuah fungsi non-linear. Sedangkan, model pembelajara mendalam dapat memiliki ratusan lapisan dimana setiap lapisannya memiliki berbagai fungsi, seperti *pooling* atau *unpooling*. Dengan arsitektur yang kompleks, model pembelajaran mendalam dapat menyelesaikan permasalahan klasifikasi, klustering, regresi dan deteksi anomali dengan tingkat akurasi yang tinggi. Namun, karena modelnya bersifat kompleks, pembelajaran mendalam membutuhkan data yang lebih banyak untuk proses pembelajaran (Heryadi dan Wahyono, 2021).



Gambar. Arsitektur CNN
(Sumber: Arif dan Rahim, 2024)

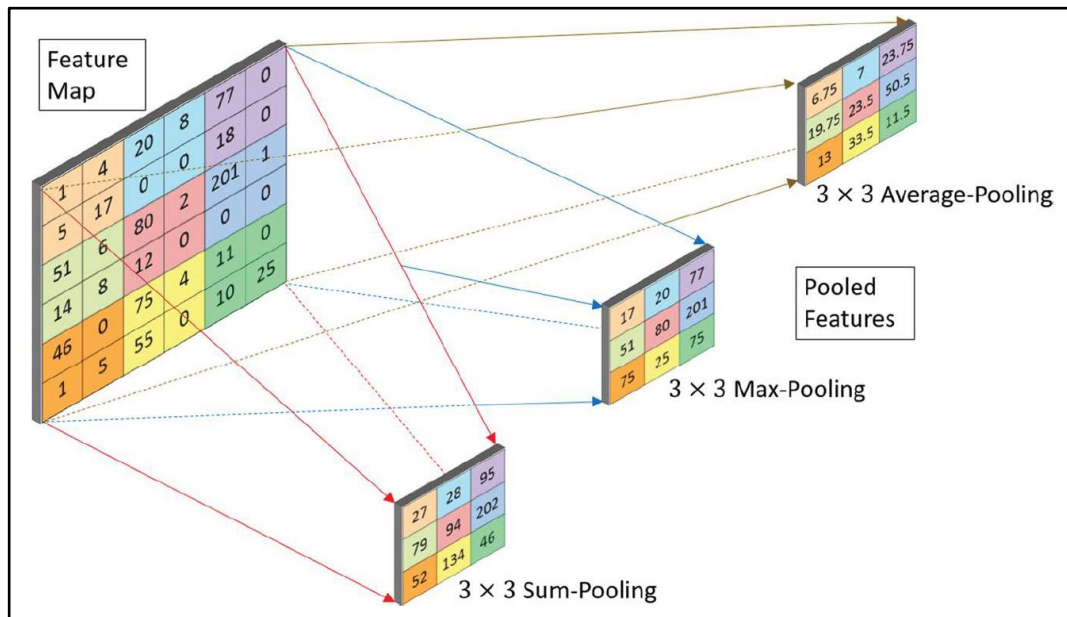
Beberapa tahun ini penerapan pembelajaran mendalam menunjukkan bahwa model berbasis arsitektur Convolutional Neural Network (CNN) dapat mencapai kinerja yang sangat baik. CNN adalah jenis arsitektur jaringan syaraf yang dirancang untuk tugas *computer vision* dan pemrosesan citra. Neuron pada CNN sensitif untuk membedakan pola-pola. Secara arsitektural, CNN digambarkan terdiri dari dua lapisan yang dapat dibedakan (Khan dkk, 2024):

1. Lapisan konvolusional, yang berisikan filter/kernel/bobot yang dapat disesuaikan dan dioptimalkan untuk kinerja optimal. Keluaran dari lapisan ini dikenal sebagai peta fitur.



Gambar. Operasi Konvolusi Citra Dengan Sebuah Filter

2. Pooling layer/max pooling/subsampling, yang memiliki fungsi mengurangi resolusi spasial peta fitur melalui proses yang disebut downsampling (mengurangi ukuran peta fitur), biasanya setengah dari ukuran aslinya. Ada beberapa jenis operasi pengumpulan, antara lain:
 - a. Max Pooling: Memilih nilai maksimum dari setiap subwilayah peta fitur.
 - b. Penggabungan Rata-rata: Memilih nilai rata-rata dari setiap subwilayah peta fitur.
 - c. ℓ^2 Norm Pooling: Memilih norma ℓ^2 dari setiap subkawasan di peta fitur.
 - d. Global Pooling: Memilih nilai maksimum atau rata-rata di seluruh peta fitur dalam satu lapisan. Ini menghasilkan nilai skalar tunggal untuk setiap peta fitur.



Gambar. Skema metode *Pooling*
(Sumber: Arif dan Rahim, 2024)

Setelah serangkaian lapisan konvolusi dan penggabungan diterapkan, keluarannya diratakan, dan diumpankan ke lapisan terminal tempat klasifikasi berlangsung. Selanjutnya suboperasi dalam jaringan yang berlangsung antara lain (Khan dkk, 2024):

1. Subsampling mengurangi jumlah bobot dalam jaringan, sehingga meningkatkan bidang reseptif neuron untuk menangkap lebih banyak informasi tentang gambar masukan dalam skala global, dan meningkatkan kemampuan jaringan untuk mengenali objek, terlepas dari lokasinya melalui invarian translasi.
2. Konvolusi adalah operasi matematis menggeser matriks filter, yang berisi bobot yang dapat dipelajari yang membantu menyimpulkan fitur berbeda pada gambar dan mengambil hasil kali dalam matriks dengan piksel di setiap lokasi untuk mengekstrak fitur tersebut. Pentingnya konvolusi tidak bisa terlalu ditekankan karena merupakan hal mendasar untuk membedakan fitur secara otomatis, sehingga menghilangkan kebutuhan akan rekayasa fitur manual. Namun, setiap kali operator konvolusional diterapkan, dimensi gambar berkurang.

3. Padding adalah proses menambahkan piksel di sekitar tepi gambar sebelum menerapkan operator konvolusional. Proses ini penting karena memastikan peta fitur yang dihasilkan memiliki dimensi yang sama dengan gambar masukan. Selain itu, jika gambar tidak memiliki piksel tepi, operator konvolusional diterapkan.
4. Normalisasi batch adalah teknik statistik yang digunakan untuk menormalkan aktivasi neuron di CNN. Hal ini dicapai dengan menyesuaikan dan menskalakan masukan ke setiap lapisan.

2.8 Komputasi Kuantum

Komputasi kuantum adalah komputasi berdasarkan sifat mekanika kuantum untuk mengoperasikan data yang memiliki proses berbeda dengan komputasi klasik. Komputasi klasik (komputasi digital) hanya dapat berada pada dua kondisi (dinyatakan dalam bit, yaitu 0 atau 1) dimana $P(0)$ adalah peluang keadaan 0 dan $P(1)$ adalah peluang keadaan 1. Jika keadaan 0 memiliki peluang setengah, maka keadaan 1 juga akan memiliki peluang setengah (Sundani, 2019). Sehingga keadaan tersebut dapat dituliskan kedalam persamaan berikut.

$$(0\ 1) = (0) + (1) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = 1$$

Kecepatan sistem klasik ditentukan secara tepat untuk setiap lokasi dan waktu (deterministik). Sedangkan dalam persamaan kuantum, bit dinyatakan dalam bit kuantum (qubit), yang dapat berada pada lebih dari dua keadaan (0 atau 1), yaitu 0 dan 1 secara bersamaan. Komputasi kuantum memiliki sifat superposisi yang dapat melakukan perhitungan secara bersamaan dan menghasilkan probabilitas keadaan. Hal ini menyebabkan terdapat banyak kemungkinan keadaan dari jumlah qubit yang dihasilkan adalah superposisi dari (0 0), (0 1), (1 0), dan (1 1) (Sundani, 2019). Keadaan kuantum qubit dapat dimodelkan secara matematis sebagai kombinasi linear berikut:

$$|\Psi\rangle = \psi_0|0\rangle + \psi_1|1\rangle$$

Dimana $|\Psi\rangle$ adalah keadaan total sistem kuantum, yang merupakan fungsi dari setiap keadaan ψ_0 dan ψ_1 , yang masing-masing mewakili keadaan 0 dan keadaan 1. Komputasi kuantum memiliki keunikan dalam proses pengambilan

informasi dari suatu peristiwa, yaitu dengan mengkuadratkan harga fungsi keadaan. Oleh karena itu, jika kondisi 0 memiliki probabilitas yang sama dengan $1/2$, maka probabilitas keadaan 0 adalah kuadrat dari harga fungsi keadaan 0 yang dapat ditulis sebagai:

$$P(0) = |\psi_0|^2 = 1/2$$

$$\psi_0 = 1/\sqrt{2}$$

$$|\Psi\rangle = 1/\sqrt{2} |0\rangle + 1/\sqrt{2} |1\rangle$$

Untuk mendapatkan nilai tertentu, diperlukan proses pengukuran untuk qubit. Tindakan ini menghentikan proses qubit dan memaksa sistem untuk memilih salah satu dari semua kemungkinan jawaban. Keadaan kuantum qubit adalah representasi matematis dari keadaan qubit. Keadaan kuantum qubit dapat berupa kombinasi linier dari keadaan $|0\rangle$ dan $|1\rangle$. Probabilitas qubit berada dalam keadaan $|0\rangle$ atau $|1\rangle$ diberikan oleh kuadrat dari amplitudo keadaan masing-masing. Keadaan kuantum qubit adalah konsep fundamental dalam komputasi kuantum dan dapat digunakan untuk melakukan perhitungan yang tidak mungkin dilakukan dengan komputer klasik.

2.9 Confusion Matrix

Confusion matrix berisi informasi mengenai hasil prediksi klasifikasi dan data aktual yang dilakukan oleh sistem klasifikasi. Confusion matrix terdiri dari dua nilai, yaitu nilai prediksi dan nilai sebenarnya yang memiliki nilai true atau false. Dari confusion matrix dapat dihitung precision, recall, serta accuracy.

		Nilai Sebenarnya	
		True	False
Nilai Prediksi	True	TP (True Positive) Correct Result	FP (False Positive) Unexpected Result
	False	FN (False Negative) Missing Result	TN (True Negative) Correct Absence of Result

Presisi adalah tingkat ketepatan antara informasi yang diminta oleh pengguna dengan jawaban yang dihasilkan oleh sistem. Kemudian recall adalah tingkat keberhasilan sistem dalam menemukan kembali sebuah informasi. Sedangkan akurasi merupakan tingkat kedekatan antara nilai prediksi dengan nilai aktual.

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP} \quad \text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN} \quad \text{Accuracy} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

2.10 Rangkuman Penelitian Terdahulu

Tabel 2.1 Penelitian Terkait Klasifikasi Motif Batik

No.	Peneliti	Sumber Jurnal	Tujuan	Kelebihan	Kelemahan
1.	Rangkuti, Rasjid, dan Santoso, 2015	Procedia Computer Science	Meningkatkan akurasi dan kecepatan klasifikasi motif batik.	Menggunakan deteksi tepi canny, serta ekstraksi fitur tekstur dan bentuk.	Masih menggunakan metode klasik sederhana, Treefit dan Treval Decision Tree.
2.	Ilahi, dkk., 2022	Jurnal Teknik Informatika	Melakukan klasifikasi batik Jawa dengan Convolutional Neural Network (CNN)	Dapat melakukan klasifikasi pada kelas ukuran campuran dalam kumpulan data.	Menggunakan data sekunder dengan penjelasan sumber yang kurang lengkap.
3.	Meranggi, Yudistira, dan Sari, 2022	International Journal On Informatics Visualization	Mengembangkan sistem klasifikasi motif batik menggunakan CNN.	Menekankan kualitas dan keakuratan dataset.	Membandingkan perbedaan hasil yang diberikan setelah mengubah kualitas dataset.
4.	Fitriani, Tresnawati, dan Sukriyansah, 2023	JUITA: Jurnal Informatika	Melakukan klasifikasi batik Garutan Convolutional Neural Network (CNN), Arsitektur ResNet-50	Membuktikan penerapan augmentasi dapat membantu meningkatkan ukuran dan kualitas dataset.	Membandingkan batik garutan dengan batik lain, bukan motif batik secara spesifik.
5.	Anggoro, Marzuki, dan Supriyanti, 2024	TELKOMNIKA Telecommunication Computing Electronics and Control	Melakukan klasifikasi batik Solo menggunakan CNN.	Menyusun arsitektur sendiri. Dan menekankan makna motif.	Beberapa dataset yang ditampilkan sebagai contoh tidak mencakup keseluruhan motif (terpotong).

Berdasarkan penelitian di atas, permasalahan pada klasifikasi batik biasanya berasal dari dataset yang kurang mendukung. Selain itu, warna citra (RGB) bukanlah faktor penting pada klasifikasi motif batik pada daerah tertentu yang memiliki warna seragam. Selanjutnya deteksi tepi dilakukan untuk meningkatkan akurasi. Namun, karena deteksi tepi membuat citra menjadi *grayscale*, maka sebaiknya hanya dilakukan pada klasifikasi motif batik dari satu daerah.

Tabel 2.2 Penelitian Terkait Klasifikasi Citra Berbasis Komputasi Kuantum

No.	Peneliti	Sumber Jurnal	Tujuan	Kelebihan	Kelemahan
1.	Mutiara, Slamet, Refianti, & Sutanto, 2020	International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)	Menerapkan metode supervised learning untuk mengklasifikasikan data gambar numerik tulisan tangan pada model QNN agar mencapai keadaan superposisi.	Dapat menjalankan QNN dengan hasil yang baik pada google colab dengan kapasitas yang terbatas.	Masih menggunakan data set yang sederhana, dan downscaling hingga 4x4 pixels.
2.	Mohsen & Tiwari, 2021	arXiv	Mengembangkan kerangka kerja untuk mengklasifikasikan gambar yang lebih besar dan realistis menggunakan sistem kuantum.	Dapat mengklasifikasikan gambar MNIST berukuran 16×16 pada laptop pribadi.	Metode yang digunakan untuk mengurangi jumlah qubit yang diperlukan menghasilkan kinerja yang lebih buruk.
3.	Wei Li, dkk., 2022	Quantum Engineering	Meningkatkan kecepatan pelatihan dan akurasi klasifikasi gambar dengan menggunakan komputer kuantum	Dibandingkan dengan CNN pada komputer klasik, HQCCNN dengan komputer kuantum memiliki kecepatan pelatihan yang lebih cepat dan akurasi set pengujian yang lebih tinggi.	Terbatasnya jumlah qubit yang tersedia di komputer kuantum, membuat harus melakukan downsampling gambar menjadi 4x4.
4.	Senokosov, dkk., 2003	arXiv	Membandingkan dua model klasik kuantum hibrida: jaringan saraf dengan lapisan kuantum paralel dan jaringan saraf dengan lapisan kuantum, untuk klasifikasi gambar.	Model yang diusulkan menunjukkan peningkatan kinerja dibandingkan model klasik dengan arsitektur serupa dengan menggunakan parameter yang jauh lebih sedikit. Downscale image hingga 14x14 pixels.	Masih menggunakan data set yang sederhana.

Berdasarkan penelitian tersebut, klasifikasi citra berbasis kuantum dapat dilakukan dengan menggunakan komputer pribadi baik komputer klasik atau terhubung dengan komputer kuantum. Kedua pilihan tersebut memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Masalah yang masih dihadapi oleh penggunaan komputasi kuantum saat ini adalah kecepatan, maka dari itu banyak jurnal yang mengabaikan kompleksitas waktu. Selain itu untuk menyesuaikan dengan kemampuan perangkat yang digunakan, citra yang akan diproses harus mengalami downscaling dan dataset yang digunakan tidak dapat dalam jumlah yang sangat besar.

Tabel 2.3 Penelitian Terkait Deteksi Tepi Berbasis Komputasi Kuantum

No.	Peneliti	Sumber Jurnal	Tujuan	Kelebihan	Kelemahan
1.	Sundani, dkk., 2019	Journal of ICT Research and Applications	Mengembangkan deteksi tepi canny berbasis kuantum.	Dapat mendeteksi lebih banyak tepi dibandingkan deteksi tepi klasik berdasarkan jumlah tepi yang dihasilkan.	Mengabaikan kompleksitas waktu.
2.	Widiyanto, dkk., 2019	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering	Mengembangkan deteksi tepi berbasis kuantum.	Dapat mengurangi deteksi noise, dan gambar dari penilaian penilaian ahli.	Masih dibutuhkan pengembangan lebih lanjut untuk deteksi tepi mamografi yang tidak memiliki nilai piksel diferensiasi yang tinggi antara satu objek dengan objek lainnya.

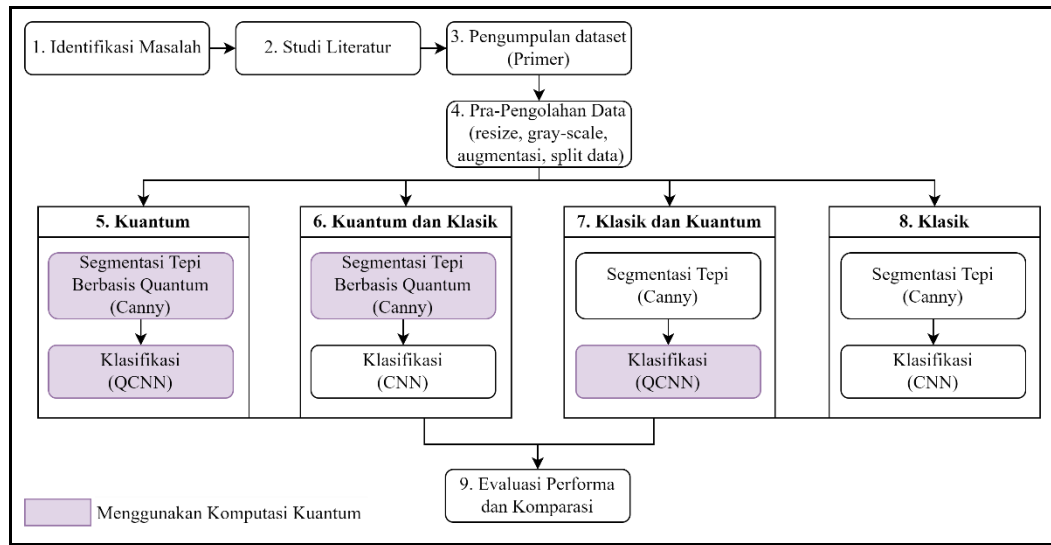
Berdasarkan penelitian didapatkan hasil bahwa deteksi tepi Canny memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan Sobel, Prewitt, Robert. Hal ini dikarenakan operator Canny mempunyai beberapa tahap deteksi tepi yang tidak dimiliki oleh operator lain sehingga dapat menghasilkan tepi yang lebih jelas. Penerapan komputasi kuantum pada deteksi tepi terbukti dapat menghasilkan deteksi tepi yang lebih baik dibandingkan dengan deteksi tepi Canny klasik dengan mendeteksi lebih banyak tepi dibandingkan deteksi tepi klasik berdasarkan jumlah tepi yang dihasilkan.

Dari pemaparan tersebut dapat dilihat peluang pengembangan algoritma kuantum segmentasi dan klasifikasi pada citra motif batik dengan menggunakan segmentasi Canny, dan klasifikasi menggunakan Quantum Neural Network (QNN).

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Alur Penelitian



Gambar 3.1 Alur Penelitian

1. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah dilakukan supaya permasalahan yang diangkat jelas. Identifikasi masalah dilakukan dengan cara melihat permasalahan nyata melalui literatur seperti jurnal penelitian, wawancara dengan ahli, dan keresahan yang dirasakan oleh peneliti secara pribadi. Permasalahan yang diangkat pada penelitian ini adalah motif batik Indonesia sangat beragam dan memiliki maknanya masing-masing. Namun tidak banyak masyarakat yang masih mengetahui nama, makna dan pemakaian dari masing-masing motif batik. Menurut Dewan Ahli PPBI (Paguyuban Pecinta Batik Indonesia) Sekar Jagad, Ibu Mari S. Condronogoro saat ini sering kali ditemukan kesalahan dalam pemakaian motif batik, seperti mengenakan kain yang seharusnya digunakan pada upacara kematian ketika menghadiri acara pernikahan. Solusi yang diusulkan adalah melakukan klasifikasi motif batik.

Metode klasifikasi yang umum digunakan adalah CNN. Namun, CNN klasik memiliki kelemahan dalam memahami makna menyeluruh dari gambar, terutama yang berkaitan dengan hubungan antar bagian gambar yang berbeda. Selain itu, CNN klasik juga rentan terhadap overfitting, di mana model terlalu terlatih pada data pelatihan dan tidak dapat menggeneralisasi dengan baik ke data baru.

2. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan supaya penelitian memiliki landasan yang jelas. Studi literatur dilakukan dengan sumber jurnal, penelitian terdahulu, serta buku yang berisikan metode yang sesuai dengan penelitian. Fokus studi literatur terbagi menjadi tiga topik, yaitu klasifikasi motif batik, komputasi kuantum, dan deteksi tepi.

3. Pengumpulan Dataset

Pengumpulan data dilakukan berdasarkan keperluan penelitian. Data yang dikumpulkan merupakan data primer yang akan dikumpulkan dengan bantuan ahli, yaitu Dewan Ahli PPBI Sekar Jagad, Ibu Mari S. Condronogoro. PPBI Sekar Jagad merupakan perkumpulan pecinta batik yang diawasi langsung (penasihat utama) oleh Permaisuri Gusti Kanjeng Ratu Hemas (istri dari Sri Sultan Hamengku Buwono X) sehingga informasi yang didapatkan, bisa dijamin kebenarannya. Pengumpulan dataset primer ini dilakukan dengan diskusi, wawancara, serta bimbingan Dewan Ahli PPBI Sekar Jagad supaya dataset yang digunakan sesuai dengan kebenaran dan kebutuhan penelitian yang dilakukan. Sehingga hasil yang didapatkan memuaskan dan akurat.

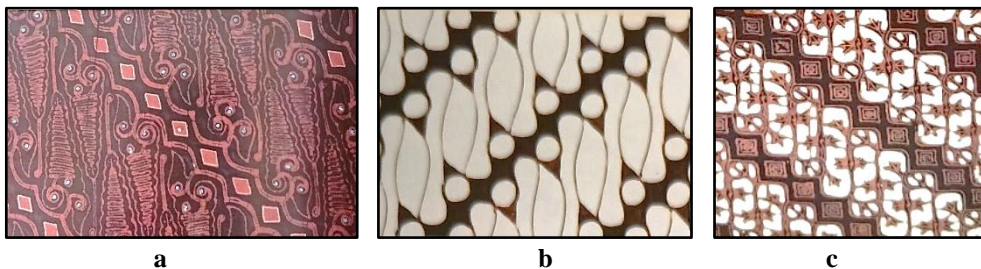
Dataset yang akan dikumpulkan merupakan citra motif “batik daur hidup” Yogyakarta dari kain batik tradisional yang merupakan batik cap maupun batik tulis (bukan printing). Motif yang akan digunakan dalam penelitian akan didiskusikan terlebih dahulu dengan narasumber supaya dapat mewakili “batik daur hidup” Yogyakarta yang sangat penting untuk diketahui dalam bersosial

di masyarakat. Misalnya seperti motif batik yang memiliki makna khusus dan tak pantas untuk dikenakan pada berapa acara, motif batik yang memiliki larangan dan lainnya. Hal ini dilakukan karena “batik daur hidup” Yogyakarta tercatat memiliki ratusan motif hingga tahun 2006 (Sekar Jagad, 2015).



Gambar 3.2 Gawangan Kain

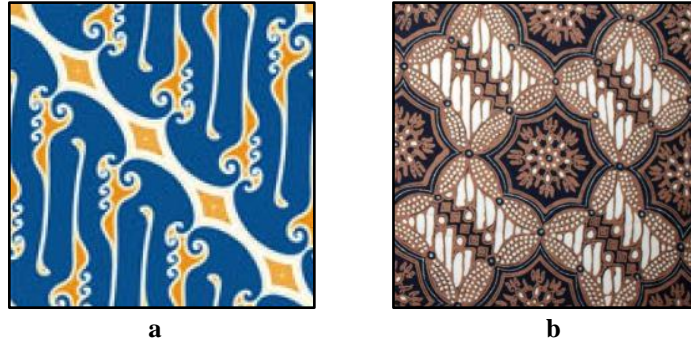
Citra batik akan diambil dengan menggunakan kamera, dimana kain akan dibentangkan pada gawangan untuk difoto di dalam ruangan (dengan pencahayaan yang sama) dan di luar ruangan (dengan cuaca yang sama). Citra batik akan diambil dari berbagai posisi supaya citra lebih beragam. Kemudian motif batik yang akan diambil beragam, namun akan dipisahkan terlebih dahulu berdasarkan jenisnya. Hal ini dikarenakan untuk satu kelompok motif yang sama, terkadang terdapat bentuk yang terlihat berbeda. Sehingga dibutuhkan pengujian bertahap untuk melihat apakah model dapat mendeteksi motif dengan benar.



Gambar 3.3. (a) Motif Parang Gondosuli, (b) Motif Batik Parang Barong, (c) Motif Batik Parang Kusuma

Data primer digunakan karena terdapat kekurangan dari data sekunder yang dapat ditemukan. Seperti motif batik yang terpotong sehingga tidak terlihat, serta motif yang salah pada beberapa kelas. Beberapa motif juga memiliki

bentuk atau komponen serupa sehingga butuh dikonsultasikan lebih lanjut kepada ahli.



Gambar . (a) Motif Parang yang Terpotong
(b) Motif Batik Ceplok Namun Memiliki Konponen Parang

4. Pra-pengolahan Data

Proses pra-pengolahan data dilakukan untuk menyiapkan data sebelum diimplementasikan dalam model klasifikasi citra. Pra-pengolahan data meliputi resize, mengubah ruang warna menjadi *grayscale*, augmentasi, dan split data. Resize dilakukan untuk memperkecil ukuran gambar aslinya. Hal ini dilakukan untuk memastikan semua citra memiliki ukuran yang sama, sehingga algoritma dapat bekerja secara konsisten dan efisien. Selain itu ukuran citra yang lebih kecil dapat mempercepat proses segmentasi dan klasifikasi tanpa kehilangan informasi penting.

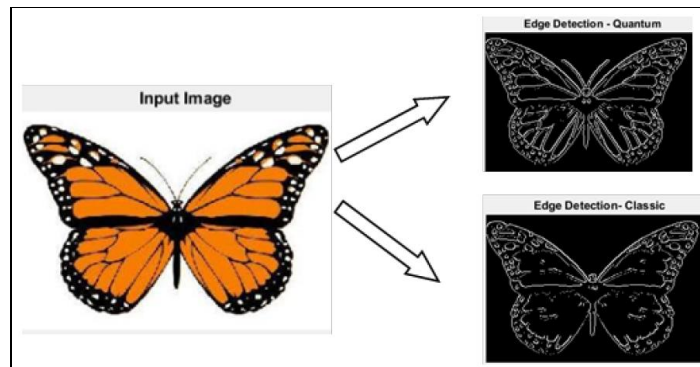
Proses selanjutnya adalah mengubah ruang warna menjadi *grayscale*, perubahan warna ini dilakukan karena dapat meningkatkan kontras, meningkatkan efisiensi komputasi, dan meningkatkan ketahanan terhadap variasi pencahayaan. Citra *grayscale* memiliki rentang intensitas yang lebih kecil dibandingkan citra RGB, sehingga kontras tepi lebih jelas. Selain itu citra *grayscale* membutuhkan lebih sedikit memori dan sumber daya komputasi dibandingkan citra RGB. Kemudian citra *grayscale* tidak terpengaruh oleh variasi pencahayaan, sehingga tepi dapat dideteksi dengan lebih akurat.

Selanjutnya proses augmentasi digunakan untuk meningkatkan ukuran dataset dengan menambahkan data baru tanpa perlu melakukan pengumpulan data baru. Hal ini bermanfaat untuk mengatasi masalah keterbatasan data. Selain itu

dengan melakukan augmentasi, data akan menjadi lebih bervariasi, sehingga dapat mencegah terjadinya *overfitting* dan lebih stabil terhadap perubahan data. Proses terakhir adalah melakukan pembagian data. Data akan dibagi menjadi tiga dataset, yaitu pelatihan, pengujian dan validasi.

5. Komputasi Kuantum

Model komputasi kuantum merupakan usulan dalam penelitian ini. Adapun kombinasi model pertama yang akan dilakukan meliputi segmentasi tepi berbasis kuantum dengan menggunakan metode canny, dan klasifikasi dengan metode *Quantum Convolutional Neural Network* (QCNN). Komputasi kuantum diterapkan mulai dari proses segmentasi karena berdasarkan penelitian terdahulu, deteksi tepi berbasis kuantum dapat mendeteksi lebih banyak tepi dibandingkan deteksi tepi klasik berdasarkan jumlah tepi yang dihasilkan (Sundani, dkk., 2019). Hal serupa juga berlaku pada metode QCNN yang memiliki hasil lebih baik dan akurat dibandingkan dengan metode CNN klasik. Sehingga hipotesisnya, hasil dari ekstraksi fitur dan klasifikasi akan menjadi lebih optimal.



Gambar 3.2 Perbandingan Hasil Deteksi Tepi Berbasis Kuantum dan Klasik
(Sundani, dkk., 2019)

6. Komputasi Kuantum dan Klasik

Kombinasi model berikutnya adalah melakukan deteksi tepi berbasis kuantum dengan model canny. Kemudian klasifikasi dilakukan dengan menggunakan CNN klasik. Kombinasi ini dilakukan untuk mengetahui seberapa jauh

pengaruh penggunaan komputasi kuantum pada deteksi tepi dengan model canny.

7. Komputasi Klasik dan Kuantum

Komputasi klasik dan kuantum disini adalah kombinasi antara deteksi tepi klasik dengan model canny, yang kemudian dilanjutkan dengan melakukan klasifikasi dengan menggunakan metode *Quantum Convolutional Neural Network* (QCNN). Hal ini dilakukan untuk melihat seberapa jauh pengaruh dari penerapan model QCNN yang menggunakan komputasi kuantum.

8. Komputasi Klasik

Pengolahan data dengan komputasi klasik dilakukan dengan menggunakan deteksi tepi canny klasik, yang dikombinasikan dengan klasifikasi CNN klasik. Pengolahan data ini dilakukan sebagai pembandingan performa model segmentasi dan klasifikasi berbasis kuantum. Pengolahan data kedua model (komputasi kuantum dan komputasi klasik) akan dilakukan dengan menggunakan komputer yang sama, yaitu komputer klasik.

9. Evaluasi Performa

Tahap terakhir adalah melakukan evaluasi performa. Performa akan dibandingkan dari akurasi yang dihasilkan. Adapun akurasi akan dihitung menggunakan confusion matrix pada kedua model. Evaluasi ini akan dilakukan pada ke-empat kombinasi model untuk mengetahui seberapa jauh perbedaan dan fungsi penerapan komputasi kuantum pada setiap model.

3.2. Jadwal Penelitian

Jadwal penelitian digunakan sebagai target supaya penelitian ini dapat selesai tepat waktu. Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dan kuantitatif. Penelitian kualitatif dilakukan dalam proses mengkaji studi literatur dan melakukan wawancara dengan Dewan Ahli PPBI Sekar Jagad, Ibu Mari S. Condrongoro untuk mempelajari batik daur hidup Yogyakarta. Sedangkan

penelitian kuantitatif dilakukan dalam pengolahan data. Berikut Tabel 3.1 Jadwal Penelitian.

Tabel 3.1 Jadwal Penelitian

No.	Uraian Kegiatan	2023				2024											
		9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.	Penyusunan Proposal																
2.	Uji Kualifikasi																
3.	Pematangan Rencana Penelitian																
5.	Wawancara dan Pengambilan Dataset Primer																
6.	Evaluasi Progres Pertama																
7.	Paper Pertama (Literatur Review)																
8.	Evaluasi Progres Kedua																
9.	Paper Kedua (Deteksi Tepi Berbasis Kuantum)																
No.	Uraian Kegiatan	2025												2026			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4
9.	Paper Ketiga (Klasifikasi Citra Berbasis Kuantum)																
10.	Evaluasi RKP																
11.	Sidang Tertutup																
12.	Sidang Terbuka																

DAFTAR PUSTAKA

- Andono, P. N., Sutojo, T., & Muljono. (2018). *Pengolahan Citra Digital*. Yogyakarta: ANDI.
- Cuevas, E., & Rodríguez, A. N. (2024). *Image Processing and Machine Learning, Volume 1: Foundations of Image Processing*. CRC Press.
- Fitriani, L., Tresnawati, D., & Sukriyansah, M. B. (2023, Mei). Image Classification On Garutan Batik Using Convolutional Neural Network with Data Augmentation. *Jurnal Informatika*, 11(1). doi:10.30595/juita.v11i1.16166
- Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2018). *Digital Image Processing Fourth Edition*. New York: Pearson Education Limited.
- Heryadi, Y., & Wahyono, T. (2021). *Dasar Dasar Deep Learning dan Implementasinya*. Yogyakarta: Gava Media.
- Ilahi, M. W., Apriyani, C. N., Desiani, A., Gofar, N., Andriani, Y., & Halim, M. R. (2022, April). Classification of Geometric Batik Motif Typical of Indonesian Using Convolutional Neural Network. *JURNAL TEKNIK INFORMATIKA*, 15(1). doi:https://doi.org/10.15408/jti.v15i1.24968
- Khan, M. A. Z., Innan, N., Galib, A. A. O., & Bennai, M. (2024). Brain Tumor Diagnosis Using Quantum Convolutional Neural Networks. *arXiv preprint arXiv:2401.15804*.
- Madenda, S. (2015). *Pengolahan Citra dan Video Digital Teori. Aplikasi dan Pemrograman Menggunakan MATLAB*. Erlangga.
- Mohsen, A., & Tiwari, M. (2021). *Image Compression and Classification Using Qubits and Quantum Deep Learning*.

- Mutaqin, G. (2023). Teknik Penghapusan Kabut Pada Citra Digital. PT. Nas Media Indonesia.
- Mutiara, A. B., Slamet, M. A., Refianti, R., & Sutanto, Y. (2020). Handwritten Numeric Image Classification with Quantum Neural Network using Quantum Computer Circuit Simulator. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 310 - 319.
- Parenreng, M. M., & Hamzidah, N. K. (2023). Pengolahan Citra & Video. PT. Nas Media Indonesia.
- Permatasari, P. A. (2022). iWareBatik: Digital Information System for Enchancing Batik Learning in the Framework of Haritage Preservation and Sustainable Tourism. *Università della Svizzera italiana*.
- Rangkuti, A. H., Rasjid, Z. E., & Santoso, D. J. (2015). Batik image classification using treeval and treefit as decision tree function in optimizing content based batik image retrieval. *Procedia Computer Science*, 59, 577-583.
- Sekar Jagad, P. (2015). *Batik Indonesia: Mahakarya Penuh Pesona* (1 ed.). (M. Gardjito, Ed.) Jakarta: KAKILANGIT KENCANA.
- Senokosov, A., Sedykh, A., Sagingalieva, A., & Melnikov, A. (2023). Quantum machine learning for image classi. doi:<https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.09224>
- Sundani, D., Widiyanto, S., Karyanti, Y., & Wardani, D. T. (2019). Identification of Image Edge Using Quantum Canny Edge Detection Algorithm. *Journal of ICT Research and Applications*, 13(2), 133-144. <https://doi.org/10.5614/itbj.ict.res.appl.2019.13.2.4>
- Wei Li, Peng-Cheng Chu, Guang-Zhe Liu, Yan-Bing Tian, Tian-Hui Qiu, Shu-Mei Wang, "An Image Classification Algorithm Based on Hybrid Quantum Classical Convolutional Neural Network", *Quantum Engineering*, vol. 2022, Article ID 5701479, 9 pages, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/5701479>

Widiyanto, S., Sundani, D., Karyanti, Y., & Wardani, D. T. (2019, June). Edge detection based on quantum canny enhancement for medical imaging. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 536, No. 1, p. 012118). IOP Publishing.