

Tinta Alami Berbasis Ekstrak Bit, Pektin dan Kitosan: Potensi Sebagai Alternatif Tinta Ramah Lingkungan

Muryeti¹, Nizar Ikhwanul Fachturozi²

^{1,2)} Program Studi Teknologi Industri Cetak Kemasan/Jurusan Teknik Grafika Penerbitan,
Politeknik Negeri Jakarta

*Email: muryeti@grafika.pnj.ac.id

ABSTRACT

The growth of the food and packaging industry demands the use of printing inks that are safe for both health and the environment, while conventional inks still contain heavy metals and volatile organic compounds (VOCs) that pose risks of irritation and pollution. Natural components such as beetroot extract, pectin, and chitosan have potential to produce eco-friendly inks; however, previous studies remain partial and lack comprehensive formulations. This study aims to formulate natural ink based on beetroot extract, orange peel pectin, and chitosan as a sustainable printing alternative. A total of 24 formulations were tested with chitosan (0–5 mL) and beetroot extract (4–8 g) at 60 °C and 80 °C. Results showed viscosity ranged from 27.983–117.667 s at 60 °C and 12.31–104.357 s at 80 °C, with chitosan significantly acting as a thickening agent. Solid content was 98.103–99.597% (60 °C) and 97.527–99.360% (80 °C), with lower chitosan levels yielding higher stability. Color analysis revealed L^ decreased with increasing beetroot extract (83.710–88.087 at 60 °C; 75.847–85.743 at 80 °C), a^* increased especially in K5B8 (11.443–18.840), while b^* shifted from –6.500 to +0.893. ΔE values ranged from 2.13 (K1B6, most stable) to 12.49 (K5B8, least stable). These findings confirm that chitosan and beetroot extract strongly influence viscosity, solid stability, and color intensity, supporting the development of eco-friendly natural inks.*

Keywords: Bio-based ink, Beetroot Extract, Pectin, Chitosan, Eco-friendly

PENDAHULUAN

Pertumbuhan industri pangan dan kemasan terus meningkat seiring tuntutan konsumen terhadap produk yang lebih aman dan berkualitas tinggi. Di sisi lain, penggunaan tinta cetak konvensional yang tidak sesuai, banyak menimbulkan persoalan kesehatan dan lingkungan. Hal ini disebabkan karena kandungan bahan pembuatan tinta cetak seperti bahan pewarna, bahan pengikat dan aditif, misalnya kandungan logam berat dan pelarut organik mudah menguap (VOCs) seperti toluen yang dapat menimbulkan iritasi hingga gangguan pernapasan, serta karsinogenik pada paparan jangka panjang. Studi sebelumnya melaporkan bahwa pekerja percetakan di Kendari yang terpapar isopropanol, salah satu VOC umum pada tinta cetak, mengalami peningkatan risiko gangguan pernapasan di ruang kerja tertutup. Jika limbah tinta ini tidak dikelola dengan baik, potensi pencemaran air dan tanah pun meningkat, menambah beban permasalahan lingkungan. Kondisi ini mendorong pengembangan tinta cetak alternatif yang lebih aman dan ramah lingkungan [1].

Upaya menuju tinta ramah lingkungan dapat dilakukan melalui pengembangan tinta berbasis bahan alami. Tinta jenis ini memanfaatkan sumber daya hayati yang melimpah dan dapat diperbarui, termasuk limbah pertanian dan perikanan, sehingga mendukung prinsip keberlanjutan. Berbagai studi sebelumnya menunjukkan pemanfaatan komponen alami untuk tinta, misalnya ekstrak buah bit yang diolah menjadi tinta screen printing dengan metode maserasi menggunakan gum arab dan tepung garut sebagai pengental. Namun, sebagaimana dilaporkan dalam penelitian [2], tinta berbasis air dan bahan alami cenderung kurang stabil terhadap air dan cahaya, sehingga penambahan tawas kerap dilakukan untuk meningkatkan daya tahannya.

Penelitian lain juga mendukung potensi komponen alami tersebut. Pektin dari limbah pertanian, misalnya dari kulit durian, terbukti memiliki kadar metoksil rendah (LM) yang sesuai untuk aplikasi tinta pangan karena sifat pengental dan penstabilnya yang baik [3]. Kitosan, yang diekstrak dari limbah cangkang udang, juga telah dimanfaatkan dalam kombinasi dengan bahan seperti pati sagu untuk mengatur viskositas dan meningkatkan *solid content*, yang berpengaruh pada ketebalan dan

daya rekat tinta [4].

Kandungan betasianin dalam umbi bit (*Beta vulgaris*) merupakan pigmen alami yang menghasilkan warna ungu kemerahan yang relatif stabil [5]. Karena berasal dari tumbuhan, senyawa ini tidak meninggalkan residu berbahaya sehingga aman digunakan untuk aplikasi yang berhubungan dengan konsumsi [6]. Selain itu, sifatnya yang terbarukan menjadikan betasianin lebih ramah lingkungan dibandingkan pewarna sintetis [7]. Berdasarkan keunggulan tersebut, ekstrak bit kaya betasianin dipilih sebagai komponen utama dalam formulasi tinta alami [8].

Untuk menjaga agar pigmen tetap terdispersi merata dan tidak mengendap selama penyimpanan, diperlukan bahan tambahan yang berfungsi mengatur viskositas dan menstabilkan sistem. Bahan alami yang digunakan dalam pembuatan tinta yaitu pektin dari kulit jeruk, yang mampu membentuk gel, menstabilkan larutan, dan memfasilitasi pencampuran bahan dalam berbagai aplikasi industri [9]. Karena bermuatan negatif, pektin dapat membentuk lapisan pelindung mikro di sekitar pigmen sehingga membantu menjaga kestabilan dispersi dalam larutan tinta [10].

Sebagai pelengkap pektin, kitosan digunakan untuk meningkatkan kestabilan dan performa formulasi. Kitosan diperoleh dari limbah cangkang udang melalui proses deasetilasi kitin dan memiliki muatan positif yang khas [11]. Muatan positif ini memungkinkan kitosan berinteraksi dengan pektin atau senyawa bermuatan negatif lainnya, membentuk struktur kompleks yang mendukung kekentalan serta kestabilan tinta. Selain itu, kitosan juga memiliki sifat antimikroba; dalam kondisi asam, struktur kitosan mampu merusak dinding sel bakteri, sehingga dapat memberikan perlindungan tambahan pada permukaan media cetak [12].

Meskipun penelitian-penelitian tersebut menegaskan peran masing-masing komponen, belum banyak studi yang memadukan ekstrak umbi bit, pektin kulit jeruk, dan kitosan dalam satu formulasi pembuatan tinta ramah lingkungan, serta menganalisis karakteristiknya secara menyeluruh. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk memformulasikan tinta ramah lingkungan dengan mengombinasikan ekstrak umbi bit, pektin kulit jeruk, dan kitosan dan karakterisasi tinta yang dihasilkan. Karakterisasi yang dilakukan antara lain viskositas, kandungan padatan (*solid content*), dan kestabilan warna (L^* , a^* , b^* , dan ΔE) pada dua variasi suhu pemrosesan (60 °C dan 80 °C). Analisis ini diharapkan mampu menghasilkan alternatif tinta cetak berbasis bahan alami yang aman, berkelanjutan, dan mendukung penerapan teknologi ramah lingkungan di industri kemasan pangan.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan meliputi aquades, ekstrak umbi bit (*Beta vulgaris* L.), pektin kulit jeruk, dan kitosan. Peralatan utama meliputi peralatan gelas laboratorium, neraca analitik, *hot plate magnetic stirrer*, botol kaca, *Zahn cup viscometer*, *stopwatch*, oven, dan *spectrodensitometer* (Techkon).

Prosedur Penelitian

Sebanyak 24 formulasi tinta dibuat dengan memvariasikan konsentrasi kitosan (0, 1, 3, dan 5 mL) dan ekstrak umbi bit (4, 6, dan 8 g), sedangkan pektin dijaga konstan sebesar 1 g. Setiap formulasi diproses pada dua tingkat suhu pemanasan, yaitu 60°C dan 80°C. Proses pembuatan diawali dengan melarutkan pektin dan kitosan dalam aquades menggunakan *hot plate magnetic stirrer* hingga homogen, kemudian ekstrak umbi bit ditambahkan sebagai pewarna alami dan dihomogenisasi kembali. Rincian komposisi masing-masing formulasi disajikan pada Tabel 1. Komposisi Pembuatan Tinta. Seluruh sampel dibuat dalam tiga kali pengulangan untuk memastikan reproduibilitas hasil pengujian.

Tabel 1. Komposisi Pembuatan Tinta Alami Berbasis Ekstark Bit, Pektin, dan Kitosan

No.	Aquades (ml)	Kitosan (ml)	Pektin (gr)	Ekstark Bit (gr)	Suhu (°C)
1	150	0	1	4	±60
2	150	0	1	6	±60
3	150	0	1	8	±60
4	150	1	1	4	±60

No.	Aquades (ml)	Kitosan (ml)	Pektin (gr)	Ekstrak Bit (gr)	Suhu (°C)
5	150	1	1	6	±60
6	150	1	1	8	±60
7	150	3	1	4	±60
8	150	3	1	6	±60
9	150	3	1	8	±60
10	150	5	1	4	±60
11	150	5	1	6	±60
12	150	5	1	8	±60
13	150	0	1	4	±80
14	150	0	1	6	±80
15	150	0	1	8	±80
16	150	1	1	4	±80
18	150	1	1	6	±80
19	150	1	1	8	±80
20	150	3	1	4	±80
21	150	3	1	6	±80
22	150	3	1	8	±80
23	150	5	1	4	±80
24	150	5	1	6	±80

Karakterisasi Tinta Berbasis Ekstrak Bit, Pektin dan Kitosan

Untuk memastikan validitas data, setiap sampel diuji sebanyak tiga kali pengulangan dan hasilnya dirata-ratakan. Karakterisasi fisikokimia yang dilakukan untuk mengevaluasi performa tinta meliputi:

Uji Viskositas

Mengukur kekentalan atau resistansi aliran tinta. Pengujian dilakukan menggunakan Zahn cup dan stopwatch untuk mencatat waktu alir (efflux time), yaitu waktu yang dibutuhkan tinta untuk mengalir keluar, yang diukur dalam satuan detik.

Uji Warna L*a*b*

Mengidentifikasi parameter warna secara kuantitatif menggunakan spectrodensitometer. Model warna CIE L*a*b* digunakan untuk mengukur tiga parameter: tingkat kecerahan L* (0=hitam, 100=putih), spektrum warna merah-hijau a* (+a=merah, -a=hijau), dan spektrum kuning-biru b* (+b=kuning, -b=biru).

Uji Delta ΔE

Mengukur total perbedaan warna antar sampel menggunakan data L*a*b*. Nilai ΔE dihitung menggunakan rumus CIE 1976 sebagai berikut:

$$\Delta E_{ab}^* = (\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 \quad (1)$$

Uji Solid Content

Uji *Solid Content*: Menentukan jumlah padatan total dalam tinta setelah komponen cair diuapkan. Pengujian dilakukan dengan metode pengeringan dalam oven pada suhu ±110°C selama 60 menit. Persentase *solid content* dihitung menggunakan rumus:

$$V = 100 - \left(\frac{W_2 - W_1}{W_0} \right) \times 100\% \quad (2)$$

Analisis Data

Data dianalisis menggunakan Two-way ANOVA untuk menilai pengaruh variasi volume kitosan

dan berat ekstrak bit terhadap karakteristik tinta, meliputi viskositas, *solid content*, parameter warna (L^* , a^* , b^*), serta ΔE . Nilai signifikansi ditentukan pada $p < 0,05$ dengan tingkat kepercayaan 95%. Apabila diperoleh hasil signifikan, dilakukan uji lanjut menggunakan Posthoc Duncan untuk mengidentifikasi perbedaan antar perlakuan. Seluruh analisis statistik dilakukan dengan IBM SPSS Statistics 27.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai Viskositas

Viskositas merupakan parameter penting yang menentukan kemampuan aliran tinta selama proses pencetakan. Nilai viskositas yang terlalu tinggi dapat menghambat aliran, sedangkan nilai yang terlalu rendah dapat menyebabkan cetakan tidak merata. Distribusi viskositas berbagai formulasi tinta ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Hasil Pengujian Viskositas.

Sampel	Viskositas 60°C (detik)	Viskositas 80°C (detik)
K0, B4	27,983	34,763
K0, B6	43,633	32,997
K0, B8	47,447	104,357
K1, B4	67,8	44,757
K1, B6	57,707	53,63
K1, B8	51,62	38,31
K3, B4	66,713	12,31
K3, B6	84,297	17,367
K3, B8	66,79	15,1
K5, B4	117,667	12,57
K5, B6	90,000	19,863
K5, B8	62,000	22,18

Tabel 2 menunjukkan perbedaan viskositas tinta pada suhu 60 °C untuk tiap kombinasi perlakuan. Nilai terendah tercatat pada K0B4 sebesar 27,983 detik, sedangkan tertinggi pada K5B4 yaitu 117,667 detik. Secara umum, penambahan volume kitosan berbanding lurus dengan kenaikan viskositas, menegaskan perannya sebagai agen pengental yang memperkuat struktur larutan [13]. Namun, penambahan ekstrak bit tinggi tidak selalu meningkatkan viskositas, seperti terlihat pada K5B8 yang justru menurun menjadi 62,000 detik akibat kemungkinan efek pengenceran atau interaksi pigmen yang menghambat pembentukan jaringan gel. Pada suhu 80 °C, tren yang muncul berbeda. Hampir seluruh kombinasi mengalami penurunan viskositas. Nilai tertinggi dicatatkan oleh K1B4 (53,63 detik), sedangkan terendah pada K3B8 (12,31 detik). Hasil ini mengindikasikan bahwa pemanasan tinggi melemahkan interaksi antarkomponen pembentuk gel sehingga menurunkan kekentalan tinta [14]. Hasil uji ANOVA two-way mendukung temuan tersebut. Pada 60 °C, volume kitosan berpengaruh signifikan terhadap viskositas ($p = 0,001 < 0,05$), sementara ekstrak bit tidak. Oleh karena itu, uji lanjut Posthoc Duncan dilakukan hanya pada faktor kitosan, yang menunjukkan perbedaan nyata antar perlakuan (K0, K3, K5). Sebaliknya, pada 80 °C, kitosan, ekstrak bit, dan interaksi keduanya berpengaruh signifikan ($p = 0,000$). Analisis Duncan menunjukkan K0 dan K1 cenderung berada pada kelompok viskositas tinggi, sedangkan K3 dan K5 pada kelompok rendah. Perlakuan B8 lebih banyak berada pada subset rendah, menegaskan bahwa peningkatan kadar pigmen dapat menurunkan kestabilan viskositas pada suhu tinggi.

Nilai *Solid Content*

Solid content menggambarkan jumlah padatan total dalam tinta, yang berperan penting dalam menentukan ketebalan lapisan cetak dan daya rekat tinta pada substrat. Nilai yang tinggi

◆ mengindikasikan residu yang stabil setelah pelarut menguap. Perbandingan nilai *solid content* antar formulasi ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 menampilkan hasil pengujian *solid content* tinta pada suhu 60 °C dan 80 °C dengan berbagai kombinasi perlakuan kitosan dan ekstrak bit. Pada suhu 60 °C, nilai *solid content* berada pada kisaran 98,103%–99,597%. Formulasi K5B4 menunjukkan nilai tertinggi, sedangkan K5B8 terendah. Secara umum, kitosan dalam jumlah besar meningkatkan padatan bila dikombinasikan dengan ekstrak bit rendah, tetapi menurun saat dikombinasikan dengan ekstrak bit tinggi. Hal ini menegaskan peran kitosan dalam membentuk residu padatan stabil, meski pigmen berlebih dapat menurunkan kestabilan. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyebutkan kombinasi kitosan dan pewarna alami menghasilkan residu termal tinggi karena komponennya bersifat non-volatile [15]. Analisis ANOVA menunjukkan bahwa kitosan ($p = 0,001$), ekstrak bit ($p = 0,000$), serta interaksi keduanya ($p = 0,015$) berpengaruh signifikan, dengan uji Duncan menempatkan K3B4 sebagai salah satu formulasi paling stabil. Pada suhu 80 °C, nilai *solid content* berkisar 97,527%–99,360%. Sampel K0B6 mencatat nilai tertinggi, sementara K5B8 kembali terendah. Dibandingkan 60 °C, sebagian besar sampel menurun, menunjukkan pengaruh suhu tinggi terhadap kestabilan padatan. Formulasi tanpa kitosan (K0) cenderung lebih tinggi, sedangkan kitosan besar (K5), khususnya dengan ekstrak bit tinggi, menghasilkan nilai lebih rendah. Hal ini disebabkan efek pengenceran serta berkurangnya ikatan padat pada suhu tinggi. Penelitian sebelumnya juga melaporkan struktur kitosan tidak stabil saat dipanaskan sehingga massa gel lebih mudah berkurang [16]. ANOVA memperlihatkan kitosan berpengaruh signifikan ($p = 0,021$), sedangkan ekstrak bit ($p = 0,562$) dan interaksi ($p = 0,179$) tidak signifikan. Uji Duncan menempatkan K0 dan K1 pada kelompok *solid content* tinggi, sedangkan K3 dan K5 pada kelompok lebih rendah. Dengan demikian, pada suhu 80 °C, formulasi paling stabil menggunakan kitosan rendah (0–1 mL).

Tabel 3. Nilai Hasil Pengujian *Solid Content*.

Sampel	<i>Solid Content</i> 60°C (%)	<i>Solid Content</i> 80°C (%)
K0, B4	99,397	99,197
K0, B6	99,267	99,36
K0, B8	98,923	98,19
K1, B4	99,563	98,04
K1, B6	98,93	99,03
K1, B8	98,987	99,293
K3, B4	99,52	98,123
K3, B6	99,16	97,753
K3, B8	99,33	98,087
K5, B4	99,597	98,15
K5, B6	98,293	98,257
K5, B8	98,103	97,527

Analisis Warna ($L^*a^*b^*$ dan ΔE)

Analisis warna dilakukan secara kuantitatif menggunakan model CIE $L^*a^*b^*$ untuk mengukur tingkat kecerahan (L^*), spektrum warna merah-hijau (a^*), spektrum kuning-biru (b^*), serta total perbedaan warna (ΔE).

Nilai L^*

Kecerahan menunjukkan seberapa terang tinta tampak secara visual. Tabel 4 menunjukkan tren penurunan nilai L^* seiring peningkatan ekstrak umbi bit.

Tabel 4. Nilai Hasil Pengujian L^* .

Sampel	L^* 60°C	L^* 80°C
K0, B4	87,513	85,707
K0, B6	86,290	83,743
K0, B8	83,710	80,257
K1, B4	87,987	85,743
K1, B6	85,220	83,99
K1, B8	84,887	80,89
K3, B4	87,893	83,75
K3, B6	86,247	81,31
K3, B8	85,427	78,223
K5, B4	88,087	83,783
K5, B6	87,093	79,757
K5, B8	85,907	75,847

Tabel 4 memperlihatkan nilai L^* pada suhu 60 °C dan 80 °C. Pada 60 °C, nilai berada antara 83,710–88,087. Formulasi K5B4 mencatat kecerahan tertinggi (88,087), sedangkan K0B8 menunjukkan nilai terendah (83,710) akibat tingginya pigmen ekstrak bit. Secara umum, peningkatan konsentrasi ekstrak bit dari B4 ke B8 menurunkan nilai L^* karena pigmen betasianin memperkuat warna merah keunguan sehingga kecerahan berkurang, sejalan dengan literatur yang menyebutkan peningkatan betasianin menurunkan nilai L^* [17]. Hasil ANOVA two-way menunjukkan kitosan ($p = 0,009$) dan ekstrak bit ($p = 0,000$) berpengaruh signifikan, sedangkan interaksinya tidak signifikan ($p = 0,116$). Uji Duncan memperlihatkan perbedaan nyata antar kelompok, misalnya K0B8 berbeda dengan K5B4. Pada suhu 80 °C, nilai L^* berkisar 81,534–86,615. Formulasi K1B4 mencatat kecerahan tertinggi (86,615), sedangkan K0B8 menunjukkan nilai terendah (81,534). Tren serupa terlihat, di mana peningkatan ekstrak bit menurunkan nilai L^* karena tingginya pigmen yang menyerap cahaya [18]. Kitosan tidak memengaruhi kecerahan secara visual, tetapi lebih berperan sebagai matriks pembentuk struktur. Uji ANOVA menunjukkan kitosan ($p = 0,000$) dan ekstrak bit ($p = 0,000$) signifikan, sedangkan interaksi tidak ($p = 0,107$). Uji Duncan membuktikan perbedaan nyata, misalnya K1B4 dengan K5B8.

Nilai a^*

Nilai a^* mengindikasikan intensitas warna merah pada tinta yang dihasilkan. Tabel 5 menampilkan peningkatan nilai a^* pada hampir semua formulasi setelah pemanasan ke 80 °C.

Tabel 5. Nilai Hasil Pengujian a^* .

Sampel	a^* 60°C	a^* 80°C
K0, B4	4,923	4,417
K0, B6	6,830	6,643
K0, B8	8,907	11,83
K1, B4	6,753	6,313
K1, B6	8,883	7,447
K1, B8	10,95	10,19
Sampel	a^* 60°C	a^* 80°C

Sampel	a* 60°C	a* 80°C
K3, B6	5,573	14,447
K3, B8	7,587	16,06
K5, B4	4,423	11,783
K5, B6	6,290	14,97
K5, B8	11,443	18,84

Tabel 5 memperlihatkan nilai a^* pada suhu 60 °C dan 80 °C dengan variasi kitosan dan ekstrak bit. Pada 60 °C, nilai a^* berkisar 4,423–11,443; tertinggi pada K5B8 yang menunjukkan warna merah paling intens, sedangkan terendah pada K5B4. Peningkatan konsentrasi ekstrak bit (B4–B8) konsisten menaikkan nilai a^* , sejalan dengan kandungan betasianin yang memperkuat warna merah [17]. Kitosan sendiri tidak memberi pola konsisten, namun interaksi dengan ekstrak bit turut memengaruhi hasil. ANOVA menunjukkan kitosan ($p=0,000$), ekstrak bit ($p=0,000$), serta interaksi keduanya ($p=0,001$) berpengaruh signifikan. Uji Duncan mengonfirmasi perbedaan nyata antar formulasi, misalnya K5B8 berbeda signifikan dengan K5B4 dan K0B4. Pada 80 °C, rentang nilai a^* meningkat menjadi 4,417–18,840, dengan K5B8 tetap tertinggi dan K0B4 terendah. Pemanasan terbukti memperkuat intensitas merah, kemungkinan akibat peningkatan kelarutan atau pelepasan pigmen betasianin, sesuai laporan sebelumnya bahwa suhu tinggi dapat meningkatkan nilai a^* [19]. ANOVA menunjukkan kitosan, ekstrak bit, dan interaksi keduanya signifikan ($p=0,000$). Hasil Duncan menempatkan setiap variasi kitosan (K0–K5) dan ekstrak bit (B4–B8) dalam subset berbeda, dengan kecenderungan nilai a^* semakin tinggi pada kombinasi kitosan besar dan ekstrak bit tinggi. Formulasi K5B8 menunjukkan perbedaan signifikan dari semua perlakuan lain, menegaskan perannya sebagai kombinasi paling kuat dalam menghasilkan warna merah.

Nilai b^*

Nilai b^* menunjukkan kecenderungan rona ke arah biru (negatif) atau kuning (positif). Tabel 6 menampilkan pergeseran nilai b^* menuju positif setelah pemanasan.

Tabel 6. Nilai Hasil Pengujian b^* .

Sampel	b^* 60°C	b^* 80°C
K0, B4	-4,247	-6,133
K0, B6	-3,883	-4,917
K0, B8	-3,040	-3,51
K1, B4	-6,103	-5,743
K1, B6	-3,710	-4,407
K1, B8	-3,510	-1,38
K3, B4	-6,003	-4,797
K3, B6	-5,227	-2,67
K3, B8	-4,547	0,893
K5, B4	-6,500	0,403
K5, B6	-3,937	-1,967
K5, B8	-1,300	-1,29

Tabel 6 menunjukkan distribusi nilai b^* pada suhu 60 °C dan 80 °C dengan kombinasi kitosan dan ekstrak bit. Pada 60 °C, seluruh nilai b^* bernilai negatif (–6,500 hingga –1,300). Formulasi K5B4 mencatat nilai terendah (–6,500), menandakan dominasi rona biru paling kuat, sedangkan K5B8 mencapai nilai tertinggi (–1,300), yang menunjukkan menurunnya intensitas biru seiring meningkatnya konsentrasi ekstrak bit. Secara umum, bertambahnya pigmen betasianin menyebabkan nilai b^* bergerak ke arah kurang negatif, sehingga warna tinta lebih netral. Hal ini sesuai dengan

literatur yang menyebutkan bahwa betasianin menekan rona biru dan memperkuat merah-ungu [20]. Uji ANOVA memperlihatkan bahwa kitosan, ekstrak bit, serta interaksinya berpengaruh signifikan ($p = 0,000$), dengan uji Duncan mengonfirmasi adanya perbedaan nyata antar formulasi. Pada 80 °C, pola serupa teramati dengan kisaran $-6,133$ hingga $+0,893$. Nilai terendah tercatat pada K0B4 ($-6,133$), sedangkan K3B8 menunjukkan nilai tertinggi ($+0,893$), yang mengindikasikan berkurangnya rona biru akibat pemanasan dan tingginya pigmen [21]. ANOVA kembali menegaskan pengaruh signifikan semua faktor ($p = 0,000$). Uji Duncan mengelompokkan kombinasi ke subset berbeda, menunjukkan ekstrak bit berperan utama dalam mengurangi intensitas biru, sementara kitosan hanya memengaruhi secara tidak langsung melalui interaksi dengan pigmen.

Nilai Delta ΔE

Delta ΔE mengukur total deviasi warna antar sampel setelah perlakuan suhu pembuatan. Tabel 7 menampilkan distribusi ΔE yang berkisar antara 2,13 hingga 12,49.

Tabel 7. Nilai Hasil Pengujian Delta ΔE .

Komposisi	ΔE
K0, B4	3,05
K0, B6	3,113
K0, B8	4,67
K1, B4	2,397
K1, B6	2,13
K1, B8	4,607
K3, B4	8,883
K3, B6	10,473
K3, B8	12,413
K5, B4	11,03
K5, B6	11,61
K5, B8	12,493

Secara umum, peningkatan volume kitosan dan ekstrak bit cenderung meningkatkan nilai ΔE . Formulasi K1B6 menunjukkan nilai ΔE terendah (2,13), sehingga dinilai paling stabil dari aspek warna. Sebaliknya, kombinasi konsentrasi tertinggi seperti K5B8 menghasilkan ΔE yang lebih tinggi, menandakan perubahan warna lebih signifikan akibat pengaruh akumulasi pigmen dan interaksi dengan matriks polimer. Analisis ANOVA mengonfirmasi bahwa kedua faktor—volume kitosan dan ekstrak umbi bit—berpengaruh signifikan ($p < 0,05$) terhadap nilai ΔE . Namun, interaksi keduanya tidak signifikan, sehingga masing-masing faktor bekerja lebih dominan secara individual dalam memengaruhi perubahan warna total. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyebutkan bahwa nilai ΔE dapat digunakan sebagai indikator kuantitatif dalam mendeteksi perubahan warna akibat oksidasi dan pemanasan [21].

Hasil penelitian ini diharapkan mendukung pengembangan tinta cetak alami yang lebih aman, berkelanjutan, dan sejalan dengan penerapan teknologi ramah lingkungan dan tinta edible pada industri kemasan pangan.

KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi ekstrak umbi bit, pektin kulit jeruk, dan kitosan mampu menghasilkan tinta ramah lingkungan dengan karakteristik fisik dan warna yang dipengaruhi komposisi serta suhu pemrosesan. Kitosan berfungsi sebagai agen pengental yang mempengaruhi viskositas, ekstrak umbi bit menjadi faktor utama penentu intensitas warna merah, sedangkan pektin berperan dalam kestabilan fisik dan solid content tinta. Suhu pemrosesan 60 °C dan 80 °C memberikan pengaruh berbeda: pemanasan meningkatkan intensitas warna merah (a^*), namun

menurunkan viskositas dan solid content akibat melemahnya struktur gel. Tidak ada satu formulasi yang unggul pada semua parameter; K5B8 menghasilkan warna merah paling pekat, sementara K1B6 menunjukkan kestabilan warna terbaik dengan nilai ΔE terendah (2,13). Temuan ini menegaskan bahwa tinta berbahan alami berpotensi menjadi alternatif tinta cetak konvensional yang lebih aman, berkelanjutan, dan mendukung teknologi ramah lingkungan di industri kemasan pangan. Namun demikian, untuk memastikan klaim sebagai tinta yang benar-benar ramah lingkungan dalam konteks industri, diperlukan penelitian lanjutan yang lebih komprehensif, meliputi uji biodegradasi, toksisitas, dampak limbah, serta evaluasi performa pada kondisi aplikasi nyata. Pendekatan ini penting untuk menjembatani hasil penelitian dengan kebutuhan implementasi industri dan mendukung pengembangan teknologi tinta cetak yang berorientasi pada keberlanjutan lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. A. Hanafi, "Analisis Risiko Paparan Isopropanol di Udara pada Pekerja Industri Percetakan di Kota Kendari," Makassar, 2021.
- [2] A. Dwi Putri, H. Rudi Kusumantoro, and E. Djonaedi, "Pembuatan Tinta Screen Printing dari Ekstraksi Buah Bit (*Beta vulgaris L.*) pada Kertas Ivory 400 gsm," pp. 1–7, 2021.
- [3] N. S. Mashhor, S. F. Z. M. Fuzi, N. Abdullah, and S. Asman, "The Development of a Pectin-Based Food Ink from Locally Sourced Durian Rind Waste for Possible Use as a 3D Printable Food Material," *Borneo Journal of Resource Science and Technology*, vol. 12, no. 1, pp. 95–105, Jun. 2022, doi: 10.33736/bjrst.4529.2022.
- [4] M. A. A. Putra, "Pembuatan Tinta Berbahan Alami (*Bioink*) dari Kitosan dan Pati Sagu," Politeknik Negeri Jakarta, 2023.
- [5] T. Mauliza, E. Elwina, and I. Nurdin, "Ekstraksi Pigmen Betasianin Umbi Bit Merah (*Beta vulgaris L.*) sebagai Pewarna Rambut Merah Alami dengan Zat Pengikat Mordan Jeruk Nipis (*Citrus aurantifolia*)," *J Teknol*, vol. 23, no. 2, pp. 120–126, Oct. 2023.
- [6] E. Lembong and G. Lara Utama, "Potensi pewarna dari bit merah (*Beta vulgaris L.*) sebagai antioksidan," *Jurnal Agercolere*, vol. 3, no. 1, pp. 7–13, Mar. 2021, doi: 10.37195/jac.v3i1.122.
- [7] A. S. Mahmuda, D. Nawangsari, and D. Febrina, "Pemanfaatan Ekstrak Umbi Bit Merah (*Beta vulgaris L.*) Sebagai Zat Warna Pada Sediaan Kosmetik Blush On," *PHARMACY GENIUS*, vol. 2, pp. 219–224, 2023.
- [8] A. M. Marpaung, "Potensi Pewarna Alami Lokal untuk Industri Pangan," *Food Review Indonesia*, vol. XIII, no. 9, 2018.
- [9] N. Mahato *et al.*, "Bio-sorbents, industrially important chemicals and novel materials from citrus processing waste as a sustainable and renewable bioresource: A review," *J Adv Res*, vol. 23, pp. 61–82, May 2020, doi: 10.1016/j.jare.2020.01.007.
- [10] J. Latupeirissa, E. G. Fransina, M. F. J. D. P. Tanasale, and C. Y. Batawi, "Ekstraksi dan Karakterisasi Pektin Kulit Jeruk Manis Kisar (*Citrus sp.*)," *Indo. J. Chem. Res*, vol. 7, no. 1, pp. 61–68, 2019, doi: 10.30598/ijcr.2020.7-egf.
- [11] I. Agusta, "Ekstraksi Kitosan dari Limbah Kulit Udang dengan Proses Deasetilasi," *Journal of Chemical Engineering*, vol. 1, no. 2, p. 6, Jul. 2020.
- [12] B. Vatria, V. Primadini, and K. Novalina, "Pemanfaatan Limbah Kulit Udang sebagai Edible Coating Chitosan dalam Menghambat Kemunduran Mutu Fillet Ikan Kakap Skinless," *MANFISH JOURNAL*, vol. 1, no. 3, pp. 174–182, Mar. 2021, [Online]. Available: <http://ejurnal.polnep.ac.id/index.php/manfish>
- [13] A. M. Rahayyu, E. N. Hidayati, and E. Masruriwati, "Effect of Chitosan Concentration on Physical Characteristics of Extract Ethanolic of Bay Leaf (*Syzygium polyanthum*) Nanoparticle Prepared by Cross-Linking Methods," *Jurnal Farmasi Sains dan Praktis*, vol. 10, no. 2, pp. 150–155, Aug. 2024, doi: 10.31603/pharmacy.v10i2.9233.
- [14] P. Lumbantoruan and E. Yulianti, "Pengaruh Suhu terhadap Viskositas Minyak Pelumas (Oli)," *Saintmatika*, vol. 13, no. 2, pp. 26–34, 2016.
- [15] M. Piccioni, S. Ghignone, R. Peila, C. Vineis, E. Lumini, and M. L. Tummino, "Biodegradation pathways in compost-enriched soil of cotton fabrics treated with chitosan and

- ◆ a natural dye: Chemical and biological evaluation,” *Int J Biol Macromol*, vol. 313, pp. 1–18, Jun. 2025, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2025.144327.
- [16] P. S. Nasution, M. A. Hamimdal, G. Syahbirin, and B. Arifin, “Optimalisasi Sifat Reologi Hidrogel Kitosan-Hialuronat yang Ditaut-Silang dengan Glutaraldehida,” *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, vol. 15, no. 1, p. 24, Mar. 2019, doi: 10.20961/alchemy.15.1.22536.24-43.
- [17] O. Güneşer, “Pigment and color stability of beetroot betalains in cow milk during thermal treatment,” *Food Chem*, vol. 196, pp. 220–227, Apr. 2016, doi: 10.1016/j.foodchem.2015.09.033.
- [18] R. Jahan, M. A. S. Polash, M. M. Karim, S. A. Juthee, M. S. A. Fakir, and M. A. Hossain, “Extraction, characterization and biochemical analysis of betacyanins derived from beetroot (*Beta vulgaris*),” *Research on Crops*, vol. 22, no. 1, pp. 216–223, 2021, doi: 10.31830/2348-7542.2021.060.
- [19] V. Prieto-Santiago, M. M. Cavia, S. R. Alonso-Torre, and C. Carrillo, “Relationship between color and betalain content in different thermally treated beetroot products,” *J Food Sci Technol*, vol. 57, no. 9, pp. 3305–3313, Sep. 2020, doi: 10.1007/s13197-020-04363-z.
- [20] E. López-Solórzano, C. Muro, Y. A. Perez, A. Y. Guadarrama-Lezama, E. Gutiérrez-Cortez, and J. M. Urrieta, “Conservation Analysis and Colorimetric Characterization of Betalain Extracts from the Peel of Red Beetroot, Golden Beetroot, and Prickly Pear Applied to Cottage Cheese,” *Foods*, vol. 14, no. 2, pp. 1–19, Jan. 2025, doi: 10.3390/foods14020228.
- [21] K. Sutor-świeży *et al.*, “Dehydrogenation of Betacyanins in Heated Betalain-Rich Extracts of Red Beet (*Beta vulgaris* L.),” *Int J Mol Sci*, vol. 23, no. 3, Feb. 2022, doi: 10.3390/ijms23031245.