

Penggunaan Isolat Protein Kedelai Sebagai Bahan Penyempurnaan Tahan Api Ramah Lingkungan

Reski Alya Pradifta¹, Noerati², Doni Sugiyana³

^{1,2,3}Program Studi Rekayasa Tekstil dan Apparel, Politeknik STTT Bandung

¹Program Studi Teknik Pembuatan Garmen, Akademi Komunitas Industri Tekstil dan Produk Tekstil Surakarta

³Balai Besar Standarisasi dan Pelayanan Jasa Industri Tekstil

reskialyap@ak-tekstilsolo.ac.id^{1*}, noeratikemal@gmail.com², dsugiyana79@gmail.com³

Received May 15, 2026/Revised Jun 23, 2026/Accepted June 26, 2026/Published June 29, 2026

ABSTRAK

Proses penyempurnaan tahan api pada umumnya masih bergantung pada senyawa kimia sintetis yang berpotensi merusak lingkungan, semisal campuran boraks serta asam borat. Penelitian sebelumnya menunjukkan senyawa mengandung fosfor yang dikombinasikan dengan nitrogen mampu bekerja secara sinergis sebagai zat retardasi api yang efektif. Seiring tumbuhnya kesadaran lingkungan, berbagai material alami mulai dikaji potensinya, termasuk lignin, tanin, serta senyawa fosfor serta nitrogen alami, yang diketahui bisa memberikan pengaruh terhadap perilaku pembakaran serta pembentukan arang. Penelitian ini bertujuan untuk mengisolasi protein dari limbah ampas tahu serta mengaplikasikannya sebagai bahan penyempurnaan tahan api pada kain poliester-kapas, dan mengevaluasi pengaruh konsentrasi isolat protein kedelai (SPI) dan thiourea terhadap performa tahan api, sifat fisik, serta ketahanan cuci kain yang dihasilkan. Riset berikut mengeksplorasi pemakaian isolat protein kedelai (SPI) dari limbah ampas tahu melalui metode alkali-asam dengan hasil rendemen sebesar 0,73%. Keberadaan protein dikonfirmasi secara kualitatif melalui uji biuret, yang ditunjukkan dengan berubahnya warna larutan menjadi ungu. Secara kuantitatif, uji Kjeldahl menghasilkan kadar protein sebesar 31,03%. Aplikasi penyempurnaan dilakukan menggunakan SPI dengan menambahkan thiourea melalui metode rendam-peras-pemanasawetan. Pada konsentrasi SPI 5% serta thiourea 10%, laju pembakaran vertikal berhasil ditekan secara signifikan di mana sebelumnya 4,725 cm/s menjadi 0,443 cm/s. Pada komposisi yang sama, kekakuan kain mengalami peningkatan tajam di mana sebelumnya 84,3567 mg·cm menjadi 827,8259 mg·cm, sementara daya tembus udara mengalami penurunan di mana sebelumnya 176 cm³/cm²/s menjadi 35 cm³/cm²/s. Hasil uji ketahanan cuci membuktikan bahwa setelah 15 siklus pencucian, kain yang diberi perlakuan masih memperlihatkan performa tahan api yang lebih unggul dibandingkan sampel blanko.

Kata Kunci: isolat protein kedelai (*Soy Protein Isolate* atau SPI), metode alkali-asam, metode rendam-peras-pemanasawetan, thiourea.

ABSTRACT

Flame retardant finishing conventionally relies on synthetic chemical compounds that pose risks to the environment, such as borax and boric acid mixtures. Previous studies have shown that phosphorus-containing compounds combined with nitrogen can act synergistically as effective flame retardant agents. As environmental awareness grows, various natural materials have been explored for their potential, including lignin, tannins, and naturally occurring phosphorus and nitrogen compounds, which are known to influence burning behavior and char formation. This study aims to isolate protein from tofu dreg waste and apply it as a flame retardant finishing agent on polyester-cotton fabric, as well as to evaluate the effect of soy protein isolate (SPI) and thiourea concentrations on the flame retardant performance, physical properties, and wash durability of the resulting fabric. This research explores the use of soy protein isolate (SPI) derived from tofu dreg waste through an alkali-acid method, yielding 0.73%. The presence of protein was qualitatively confirmed through the biuret test, indicated by a color change to purple. Quantitatively, the Kjeldahl test determined a protein content of 31.03%. The finishing application was carried out using SPI with the addition of thiourea via the dip-squeeze-curing method. At a concentration of 5% SPI and 10% thiourea, the vertical burning rate was significantly reduced from 4.725 cm/s to 0.443 cm/s. Under the same composition, fabric stiffness increased sharply from 84.3567 mg·cm to 827.8259 mg·cm, while air permeability decreased from 176 cm³/cm²/s to 35 cm³/cm²/s. Wash durability testing demonstrated that after 15 washing cycles, the treated fabric still exhibited superior flame retardant performance compared to the blank sample.

Keywords: soy protein isolate (SPI), alkaline-acid method, pad-dry-cure method, thiourea,

1. Pendahuluan

Kain campuran poliester-kapas (*Tetoron Cotton*, disingkat T/C) banyak digunakan dalam industri tekstil, namun komponen kapasnya bersifat mudah terbakar sehingga berisiko menimbulkan kecelakaan serius (Astari & Samsurya, 2008; Teli & Pandit, 2017). Sebelum kain T/C menjalani proses penyempurnaan fungsional seperti penyempurnaan tahan api, kain umumnya perlu melalui tahap pra-perlakuan berupa pengelantangan untuk menghilangkan kotoran alami dan zat pengotor pada serat, sehingga daya serap kain terhadap larutan penyempurnaan dapat lebih optimal (Yulianti *et al.*, 2025). Untuk mengatasi hal ini, penyempurnaan tahan api diterapkan dengan menghambat perambatan nyala api melalui zat kimia khusus (Alongi *et al.*, 2014), yang umumnya berbasis fosfor, nitrogen, dan halogen yang dikombinasikan dengan melamin agar bersifat permanen (Malucelli, 2019).

Pendekatan konvensional masih banyak mengandalkan bahan kimia sintetis seperti campuran boraks dan asam borat (Patil & Desmukh, 2012), serta kombinasi fosfor dan nitrogen yang bekerja secara sinergis (Kandola *et al.*, 1996). Akan tetapi, penggunaan bahan-bahan tersebut dapat menurunkan kekuatan tarik kain akibat kondisi proses yang asam, di samping berdampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan, termasuk risiko menempel pada kulit serta terhirup dari produk berbahan tekstil (Inagaki *et al.*, 1978). Sebagai alternatif yang lebih ramah lingkungan, berbagai bahan alami telah dikaji potensinya sebagai zat tahan api, di antaranya daun bayam, getah dan batang pohon pisang, tempurung dan sabut kelapa, serta kulit pisang dan kulit buah delima (Basak *et al.*, 2015; Basak & Ali, 2018; Teli & Pandit, 2017), juga senyawa berbasis lignin, fosfor, nitrogen, tanin, dan amonium polifosfat metabolik (Grootemaat *et al.*, 2015). Salah satu bahan alami yang menjanjikan adalah senyawa protein, karena kandungan nitrogen, fosfor, dan sulfur dalam rantai molekulnya berpotensi memberikan efek tahan api (Villamil Watson & Schiraldi, 2020). Protein tersusun dari rantai asam amino yang masing-masing memiliki gugus NH_2 dan COOH (Wardlaw & Kessel, 2002), dan penelitian ini menggunakan isolat protein kedelai (*Soy Protein Isolate* atau SPI) yang bersumber dari ampas tahu, limbah industri tahu yang masih memiliki kandungan protein cukup tinggi (Liu, 1997; Sina *et al.*, 2021; Jun-xia *et al.*, 2011).

Di bidang tekstil, SPI telah dimanfaatkan antara lain sebagai serat nano dan biokomposit melalui teknik electrospinning (Tian *et al.*, 2018), sementara protein sejenis, *Whey Protein Isolate* (WPI), terbukti dapat meningkatkan stabilitas termal dan ketahanan api kain kapas berkat sifat mekanik dan kemampuannya menghalangi oksigen (Bosco *et al.*, 2013). Penelitian terdahulu juga menunjukkan bahwa kombinasi SPI dan thiourea dapat meningkatkan kemampuan tahan api kain melalui pembentukan senyawa seperti H_2S , NH_3 , dan H_2O serta ikatan tak jenuh $\text{C}=\text{N}$ yang membentuk lapisan arang pelindung (Meng *et al.*, 2020). Akan tetapi, penelusuran literatur menunjukkan bahwa penelitian mengenai pemanfaatan SPI sebagai zat tahan api masih sangat terbatas. Satu-satunya kajian yang ditemukan, yaitu oleh Meng *et al.* (2020), hanya menerapkan SPI sebagai pelapis permukaan kain poliamida tanpa proses pemanasawetan (*curing*), sehingga data mengenai ketahanan cucinya belum tersedia. Selain itu, penelitian tersebut belum memanfaatkan limbah industri sebagai sumber SPI, sehingga aspek keberlanjutan dan nilai tambah limbah belum tergali secara optimal.

Kebaruan penelitian ini terletak pada pemanfaatan limbah ampas tahu sebagai sumber SPI yang diisolasi secara mandiri, kemudian diaplikasikan pada kain poliester-kapas melalui metode *pad-dry-cure* yang mencakup tahap pemanasawetan — suatu langkah yang belum dilakukan pada penelitian SPI sebelumnya. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengisolasi dan mengkarakterisasi protein dari limbah ampas tahu sebagai SPI, (2) mengaplikasikan SPI yang dikombinasikan dengan thiourea sebagai zat penyempurnaan tahan api pada kain poliester-kapas melalui metode *pad-dry-cure*, serta (3) mengevaluasi pengaruh konsentrasi SPI dan thiourea terhadap performa tahan api, sifat fisik, dan ketahanan cuci kain yang dihasilkan.

2. Metode Penelitian

2.1. Bahan dan Alat

Bahan baku berupa ampas tahu diperoleh dari industri tahu skala rumahan yang berlokasi di Cikutra, Kota Bandung. Dua jenis ampas tahu yang dipakai dalam penelitian ini, yakni ampas tahu dalam kondisi basah serta kering. Tahap isolasi memerlukan bahan kimia berupa NaOH , HCl , serta akuades, sedangkan tahap penyempurnaan menggunakan SPI, thiourea, dan akuades.

Peralatan yang dipakai pada tahap isolasi mencakup neraca analitik, magnetic stirrer, mesin *sentrifuge*, pH meter, serta peralatan gelas analisis kimia. Sementara itu, peralatan pada tahap penyempurnaan meliputi neraca analitik, *magnetic stirrer*, termometer, mesin *padder*, mesin *stenter*, dan peralatan gelas analisis kimia.

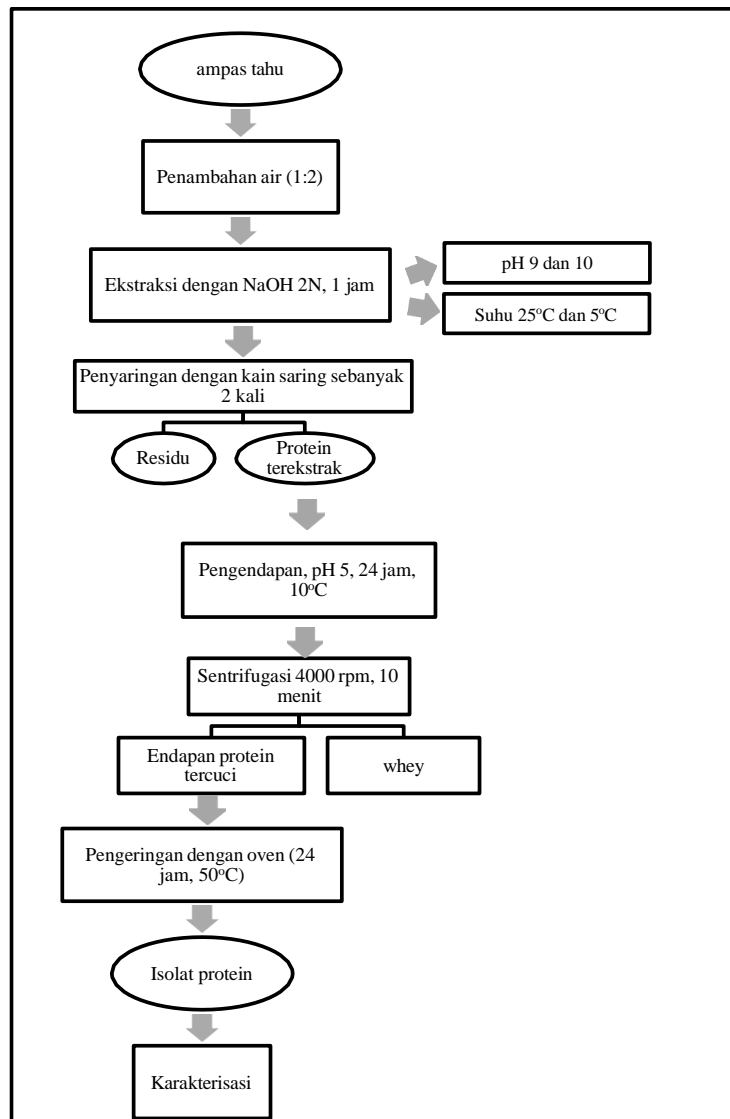
2.2. Proses Isolasi

Tabel 1 menunjukkan variasi kondisi yang diterapkan pada proses isolasi protein dari ampas tahu, yaitu kombinasi pH ekstraksi (9 dan 10) dan suhu (ruang dan 50°C). Variasi ini menghasilkan empat kondisi perlakuan, yaitu sampel Ai (pH 9, suhu ruang), Bi (pH 10, suhu ruang), Ci (pH 9, suhu 50°C), dan Di (pH 10, suhu 50°C). Penentuan kombinasi pH dan suhu ini bertujuan untuk mengetahui kondisi optimum ekstraksi yang menghasilkan rendemen dan kadar protein isolat tertinggi. Tahapan mengacu pada teknik Koswara

(1992). Gambar 1 memperlihatkan diagram alir proses isolasi SPI secara keseluruhan. Proses dimulai dari ampas tahu yang dihaluskan, kemudian dicampur dengan air dengan perbandingan 1:2. Selanjutnya dilakukan ekstraksi menggunakan NaOH 2N selama 1 jam pada variasi pH (9 dan 10) dan suhu (ruang dan 50°C) sesuai Tabel 1. Campuran tersebut kemudian disaring sebanyak dua kali untuk memisahkan residu dari protein terekstrak. Protein terekstrak selanjutnya diendapkan pada pH 4,5 selama 24 jam pada suhu 10°C, lalu disentrifugasi pada 4000 rpm selama 10 menit untuk memisahkan endapan protein dari *whey*. Endapan protein yang dihasilkan kemudian dikeringkan dalam oven selama 24 jam pada suhu 60°C, sehingga diperoleh isolat protein dalam bentuk serbuk kering yang selanjutnya dikarakterisasi.

Tabel 1. Variasi kondisi isolasi

Sampel	pH	Suhu
A _i	9	Ruang
B _i	10	Ruang
C _i	9	50°C
D _i	10	50°C



Gambar 1. Diagram alir proses isolasi

2.3. Proses Penyempurnaan

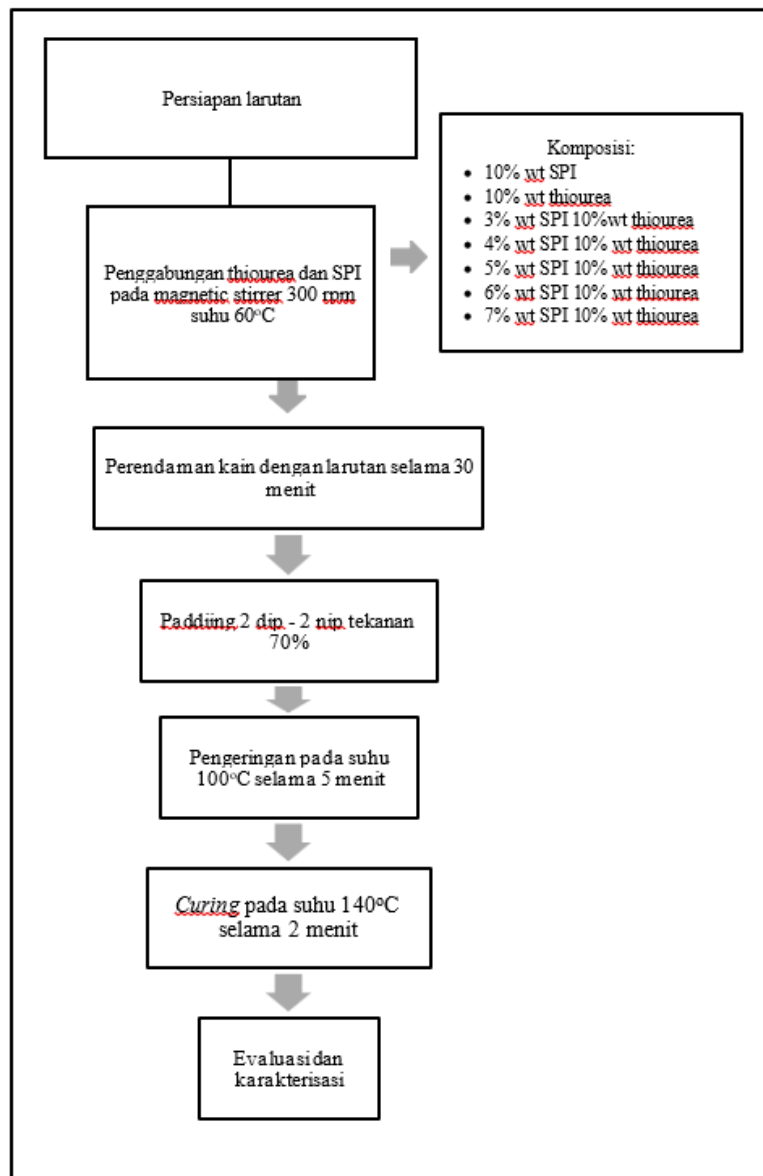
Tabel 2 menunjukkan komposisi larutan yang digunakan pada proses penyempurnaan tahan api, dengan konsentrasi thiourea tetap sebesar 10% wt untuk seluruh sampel, sementara konsentrasi SPI divariasikan dari 0% (sampel Ak sebagai blanko) hingga 8% wt (sampel Bk, Ck, Dk, Ek, dan Fk masing-masing pada 4%, 5%,

6%, 7%, dan 8% wt). Variasi konsentrasi SPI ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan isolat protein kedelai terhadap performa tahan api kain yang dihasilkan.

Gambar 2 memperlihatkan diagram alir proses penyempurnaan kain menggunakan metode pad-dry-cure. Proses dimulai dengan persiapan larutan sesuai komposisi pada Tabel 2, yaitu penggabungan thiourea dan SPI menggunakan magnetic stirrer pada kecepatan 300 rpm dan suhu 60°C. Selanjutnya, kain direndam dalam larutan tersebut selama 30 menit, lalu melalui proses padding dengan metode 2 dip-2 nip pada tekanan WPU 70%. Kain kemudian dikeringkan pada suhu 100°C selama 5 menit, diikuti dengan proses pemanasawetan (curing) pada suhu 140°C selama 2 menit. Tahapan terakhir berupa evaluasi dan karakterisasi kain untuk menilai performa tahan api, sifat fisik, dan ketahanan cucinya.

Tabel 2. Komposisi larutan sampel

Sampel	ISP	Thiourea
Ak	0	10% wt
Bk	4% wt	10% wt
Ck	5% wt	10% wt
Dk	6% wt	10% wt
Ek	7% wt	10% wt
Fk	8% wt	10% wt



Gambar 2. Diagram alir proses penyempurnaan

2.4. Karakterisasi SPI

Rendemen

Efektivitas proses isolasi protein bisa dievaluasi melalui jumlah rendemen yang didapatkan. Rendemen konsentrat protein dinilai dalam persentase bobot kering (%bk) menggunakan rumus berikut:

$$\text{Rendemen (\% bk)} = \frac{c(100-d)}{a(100-b)} \times 100 \quad (1)$$

a: bobot bahan dasar (g), b: tingkat air bahan dasar (%), c: massa konsentrat (g), d: tingkat air konsentrat (%).

Pengujian kualitatif (biuret)

Dalam pengujian berikut, larutan sampel dibuat dengan konsentrasi 2% dalam akuades. Sejumlah 1 mL larutan sampel disisihkan, setelah itu diberikan penambahan 1 mL NaOH 10%, diikuti dengan penambahan 1 mL larutan CuSO₄ 0,1%, lalu diaduk hingga homogen. Hasil uji dinyatakan positif apabila terbentuk perubahan warna dari kemerahan hingga keunguan.

2.5. Pengujian Kualitatif (Kjeldahl)

Penentuan kadar protein secara kuantitatif dilakukan menggunakan metode Kjeldahl, yang terdiri atas tiga tahapan utama, yaitu destruksi, destilasi, dan titrasi. Pada tahap destruksi, sampel didekomposisi menggunakan asam sulfat pekat dengan bantuan katalis, sehingga nitrogen organik yang terkandung dalam sampel diubah menjadi ammonium sulfat. Selanjutnya, pada tahap destilasi, ammonium sulfat yang terbentuk direaksikan dengan basa kuat (NaOH) untuk membebaskan gas amonia (NH₃), yang kemudian ditangkap dan diserap dalam larutan asam borat. Tahap terakhir adalah titrasi, yaitu penentuan jumlah amonia yang terserap menggunakan larutan asam standar (titran), sehingga kadar nitrogen total dalam sampel dapat dihitung. Kadar protein kemudian diperoleh dengan mengonversi kadar nitrogen tersebut menggunakan faktor konversi protein yang sesuai.

2.6. Evaluasi Kain

Pengujian karakteristik tahan api secara vertikal dilakukan dengan membakar kain yang dijepit pada rangka dalam posisi tegak sepanjang durasi waktu yang telah ditentukan. Parameter yang diukur meliputi waktu sejak api dijauhkan hingga padam, waktu dari padamnya api hingga padamnya bara, serta panjang yang terbakar pada sampel uji akibat pemberian gaya tertentu. Pengujian ini mengacu pada standar ASTM E2863. Pengujian kekakuan dilakukan untuk mengidentifikasi pengaruh penambahan zat penyempurnaan tahan api terhadap pegangan (*handle*) serta kekakuan kain. Pengujian dilakukan berdasarkan standar SNI 314-2017. Pengujian daya tembus udara dilakukan untuk mengukur kemampuan udara menembus kain sampel yang diuji. Metode pengujian mengacu pada SNI 7648:2010. Pengujian ketahanan cuci mengacu pada standar SNI-ISO 6330:2015 tentang Tekstil – Prosedur Pencucian serta Pengeringan Rumah Tangga untuk Pengujian Tekstil. Standar berikut menentukan tahap pencucian serta pengeringan dalam kondisi rumah tangga yang diterapkan pada kain, garmen, maupun produk tekstil yang lain akan mendapati integrasi tahap pencucian serta pengeringan sejalan kondisi penggunaan sehari-hari.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Karakterisasi SPI

a. Rendemen

Isolat yang diperoleh sesudah tahap pengeringan berbentuk padatan yang setelahnya diproses menjadi serbuk halus berwarna kecoklatan sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 3. Rendemen yang diperoleh dari tahap isolasi pada berbagai kombinasi pH dan suhu ekstraksi dapat dilihat pada Tabel 3. Nilai rendemen tertinggi diperoleh pada sampel Di dengan kombinasi pH 10 dan suhu 50°C, yaitu sebesar 0,73%, sementara nilai terendah diperoleh pada sampel Ai (pH 9, suhu ruang) sebesar 0,54%.

Kecenderungan ini menunjukkan bahwa peningkatan pH ekstraksi dari 9 menjadi 10, serta peningkatan suhu dari suhu ruang menjadi 50°C, berbanding lurus dengan peningkatan rendemen yang dihasilkan. Hal ini dapat dijelaskan secara kimiawi: pH alkali yang lebih tinggi meningkatkan kelarutan protein karena kondisi larutan berada semakin jauh di atas titik isoelektrik protein, sehingga lebih banyak fraksi protein yang mampu terekstraksi ke dalam fase cair. Demikian pula, peningkatan suhu mempercepat proses denaturasi dan pemutusan ikatan antar-molekul dalam matriks ampas tahu, sehingga protein yang terikat pada struktur sel lebih mudah terlepas dan larut dalam pelarut alkali. Kombinasi pH dan suhu yang optimum (pH 10, 50°C) dengan demikian menghasilkan ekstraksi protein yang paling efisien di antara variasi yang diuji.



Gambar 3. Hasil isolat

Tabel 3. Hasil rendemen

Sampel	pH	Suhu	Rendemen
A _i	9	Ruang	0,54%
B _i	10	Ruang	0,60%
C _i	9	50°C	0,67%
D _i	10	50°C	0,73%

Apabila dibandingkan dengan penelitian terdahulu mengenai isolasi protein dari ampas tahu menggunakan metode asam-basa, rendemen yang dihasilkan pada penelitian ini (0,54–0,73%) tergolong jauh lebih rendah. Sebagai pembandingan, penelitian isolasi protein ampas tahu dengan variasi suhu ekstraksi (25°C dan 50°C) dan pH (8,0–10) melaporkan bahwa kombinasi suhu ekstraksi 50°C dan pH 10 sebagai kondisi optimum menghasilkan rendemen tepung hingga 11,68% (Nurdjannah & Usmiati, 2006). Meskipun kecenderungan pengaruh pH dan suhu pada penelitian ini sejalan dengan temuan tersebut — yaitu kombinasi pH dan suhu tertinggi menghasilkan rendemen terbaik — perbedaan nilai absolut yang cukup besar ini kemungkinan disebabkan oleh perbedaan jenis bahan baku ampas tahu (basah/kering), rasio pelarut, lama waktu ekstraksi, serta metode perhitungan rendemen yang digunakan pada masing-masing penelitian. Perbedaan ini menunjukkan bahwa optimasi lebih lanjut terhadap parameter proses isolasi masih dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi perolehan protein dari limbah ampas tahu.

b. Pengujian kualitatif (biuret)

Pada pengujian berikut digunakan sampel Di. Larutan menghasilkan warna keunguan yang mengindikasikan bahwa isolat yang diuji tervalidasi memiliki kandungan protein. Perubahan warna yang terjadi selama proses uji ditemukan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Perubahan warna pada larutan. (a) sebelum ditambahkan pereaksi, (b) setelah ditambahkan pereaksi

Reaksi biuret merupakan reaksi warna yang spesifik untuk mendeteksi keberadaan ikatan peptida pada suatu senyawa. Prinsip dasarnya adalah ion tembaga (Cu^{2+}) yang berasal dari larutan CuSO_4 akan berikatan dengan gugus $-\text{CO}-\text{NH}-$ (ikatan peptida) pada rantai polipeptida dalam suasana basa, sehingga membentuk senyawa kompleks berwarna biru-ungu (Poedjiadi, 1994). Reaksi ini hanya dapat berlangsung pada molekul yang memiliki minimal dua ikatan peptida atau lebih, sehingga uji biuret bersifat spesifik untuk protein dan polipeptida, namun tidak spesifik untuk jenis protein tertentu. Semakin banyak ikatan peptida yang terdapat dalam sampel, semakin pekat pula intensitas warna ungu yang dihasilkan, karena setiap ikatan peptida berpotensi mengikat satu ion tembaga (Lehninger, 1993). Penambahan NaOH pada pengujian ini berfungsi menciptakan kondisi basa yang diperlukan agar ion Cu^{2+} dapat berinteraksi dengan atom nitrogen pada ikatan

peptida; tanpa kondisi basa tersebut, reaksi pembentukan kompleks berwarna tidak akan terjadi meskipun ion tembaga telah ditambahkan ke dalam larutan sampel.

Terbentuknya warna ungu pada sampel Di sebagaimana terlihat pada Gambar 4(b) — dibandingkan dengan warna larutan yang masih jernih sebelum penambahan pereaksi pada Gambar 4(a) — mengonfirmasi bahwa isolat protein kedelai yang dihasilkan dari limbah ampas tahu memang mengandung rantai polipeptida dengan ikatan peptida yang cukup banyak. Hasil ini memperkuat indikasi bahwa proses isolasi melalui metode alkali-asam yang diterapkan pada penelitian ini berhasil mengekstraksi fraksi protein dari matriks ampas tahu, sehingga isolat yang dihasilkan layak untuk dilanjutkan ke tahap pengujian kuantitatif guna menentukan kadar protein secara lebih akurat.

3.2. Pengujian kuantitatif (kjeldahl)

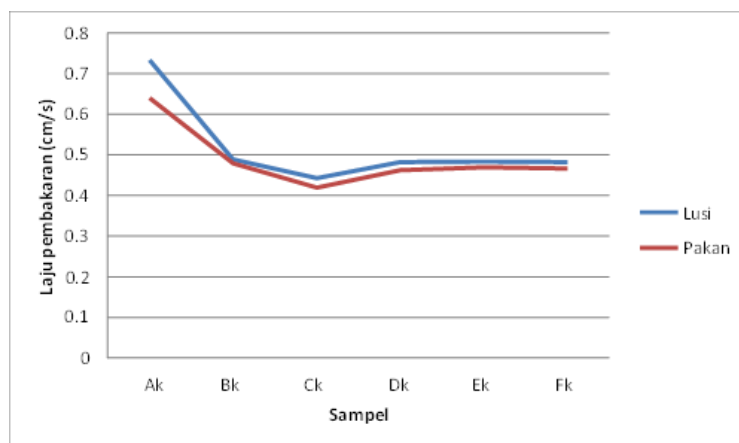
Melalui pengujian kuantitatif, (Sudarmadji et al., 1989), diperoleh tingkat protein sejumlah 31,03%. Kadar yang rendah terjadi dikarenakan bahan baku yang digunakan merupakan limbah atau produk samping dari pembuatan produk utamanya yaitu tahu, sehingga protein sebenarnya sudah terambil banyak pada pembuatan tahu dan limbahnya berisi sisa protein yang tidak terbawa saat pembuatan tahu yang menyebabkan nilai rendemen dan kadar protein dari isolat bernilai rendah.

Apabila dibandingkan dengan penelitian isolasi protein dari ampas tahu lainnya, kadar protein yang diperoleh pada penelitian ini juga tergolong lebih rendah. Sebagai pembandingan, isolasi protein ampas tahu yang dikombinasikan dengan montmorillonit untuk aplikasi edible film dilaporkan dapat menghasilkan isolat dengan kadar protein sebesar 41% (Zain, 2017), sementara isolasi dengan kombinasi suhu dan pH ekstraksi yang teroptimasi secara khusus bahkan dapat menghasilkan kadar protein konsentrat hingga 61,14% (Nurdjannah & Usmiati, 2006). Perbedaan ini kemungkinan disebabkan oleh perbedaan parameter proses, seperti suhu dan pH ekstraksi yang digunakan, rasio pelarut terhadap bahan baku, lama waktu pengendapan, serta jenis dan kondisi ampas tahu yang digunakan.

3.3. Evaluasi kain

a. Pengujian pembakaran vertikal

Pengujian berikut adalah uji inti untuk mengukur efektivitas ketahanan api suatu kain. Laju perambatan api dihitung berdasarkan panjang arang yang terbentuk dibagi waktu nyala api yang berlangsung. Berdasarkan parameter waktu nyala api, semakin tinggi konsentrasi yang digunakan maka semakin lama nyala api yang didapatkan. Tetapi, dengan konsentrasi melampaui 5%, peningkatan performa tidak lagi terlihat karena zat penyempurnaan telah mencapai titik jenuh dalam berikatan dengan serat kain sehingga tidak mampu meningkatkan efektivitasnya lebih jauh. Data hasil pengujian berikut dijelaskan dalam Gambar 5.



Gambar 5. Laju pembakaran kain

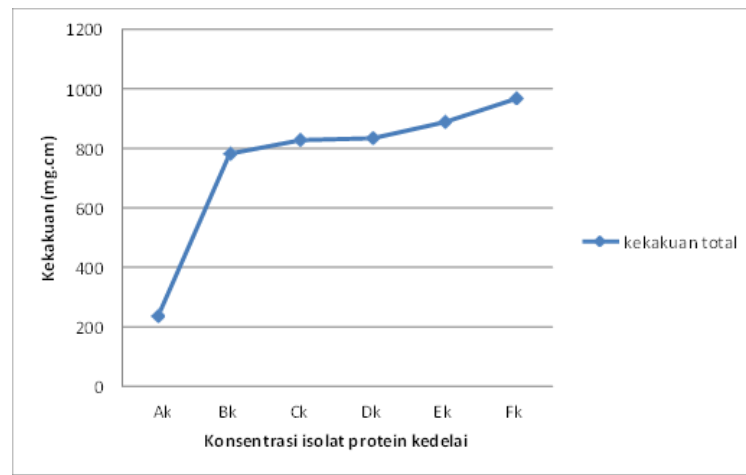
Penurunan laju pembakaran dari 4,725 cm/s menjadi 0,443 cm/s pada penelitian ini sejalan dengan temuan-temuan terdahulu mengenai potensi senyawa protein sebagai zat tahan api alami. Whey protein isolate (WPI) yang diaplikasikan pada kain kapas terbukti meningkatkan total waktu pembakaran sekaligus menurunkan laju pembakarannya (Bosco et al., 2013), sementara kombinasi SPI dengan thiourea pada kain poliamida juga telah dilaporkan dapat meningkatkan kemampuan tahan api melalui pembentukan lapisan arang pelindung pada fase terkondensasi (Meng et al., 2020). Konsistensi arah temuan antara penelitian ini dengan kedua penelitian tersebut memperkuat indikasi bahwa senyawa protein — baik yang bersumber dari kedelai maupun whey — secara umum efektif bekerja sebagai agen tahan api melalui mekanisme pembentukan arang dan penghambatan fase gas, terlepas dari jenis kain dan sumber protein yang digunakan. Hal ini sekaligus

menegaskan keunggulan komparatif penelitian ini, sebab performa tahan api yang dicapai pada konsentrasi isolat 5% sudah menyamai bahkan melampaui efektivitas yang dilaporkan pada kajian penyempurnaan kain poliamida menggunakan SPI tanpa proses pemanasawetan (Meng et al., 2020).

b. Pengujian kekakuan kain

Pengujian kekakuan bertujuan untuk memahami dampak tahap penyempurnaan terhadap karakteristik kekakuan kain melalui pengukuran panjang lengkung dan perhitungan kekakuan lentur serta modulus lengkung. Panjang lengkung ditentukan berdasarkan panjangnya kain yang melengkung akibat bebannya sendiri, sedangkan modulus lengkung diperoleh dengan mengomparasikan nilai kekakuan lentur terhadap ketebalan kain.

Hasil pengujian kekakuan kain disajikan dalam Gambar 6. Nilai kekakuan paling rendah diperoleh pada konsentrasi paling kecil, sebab lapisan zat yang melekat di dalam serat kain akan semakin tebal sejalan meningkatnya konsentrasi, yang pada akhirnya menyebabkan kain menjadi semakin kaku.

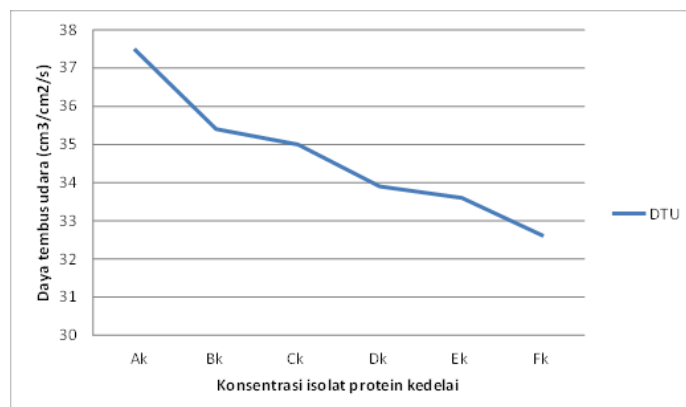


Gambar 6. Nilai kekakuan kain

Peningkatan kekakuan kain seiring naiknya konsentrasi zat penyempurnaan merupakan fenomena umum yang juga dilaporkan pada berbagai sistem tahan api lainnya. Sebagai pembandingan, penerapan melamine salt of chitosan phosphate (MCHP) pada konsentrasi 30% pada kain kapas dilaporkan dapat meningkatkan nilai LOI hingga 58,2%, namun diikuti oleh peningkatan kekakuan kain sebesar 18,0% dan 90,5% dibandingkan kain kapas tanpa perlakuan Jiang et al. (2023). Trade-off antara performa tahan api dan kekakuan kain semacam ini lazim terjadi pada sistem penyempurnaan tahan api berbasis pelapisan atau ikatan silang, sehingga peningkatan kekakuan yang teramati pada penelitian ini sejalan dengan kecenderungan umum tersebut.

c. Pengujian daya tembus udara

Pengujian berikut dilakukan guna mengukur performa kain untuk melewatkan aliran udara. Dalam riset ini, proses penyempurnaan tahan api memakai senyawa yang mampu membentuk ikatan silang terhadap kain. Terbentuknya ikatan tersebut mengakibatkan susunan serat kain mengalami pengencangan, sehingga aliran udara makin sukar menembus kain. Data hasil pengujian dijelaskan dalam Gambar 7.



Gambar 7. Nilai daya tembus udara kain

Penurunan daya tembus udara dari $176 \text{ cm}^3/\text{cm}^2/\text{s}$ menjadi $35 \text{ cm}^3/\text{cm}^2/\text{s}$ pada penelitian ini menunjukkan pola yang sama dengan sistem tahan api berbasis pelapisan permukaan lainnya, di mana peningkatan kerapatan struktur kain akibat pelapisan zat tahan api turut menurunkan daya tembus udaranya Jiang et al. (2023). Hal ini mengindikasikan bahwa mekanisme penurunan permeabilitas udara pada kain hasil penyempurnaan SPI-thiourea sejalan dengan prinsip umum pada sistem tahan api berbasis ikatan silang/pelapisan, yakni semakin rapat struktur yang terbentuk, semakin baik performa tahan apinya, namun dengan konsekuensi penurunan sirkulasi udara pada kain.

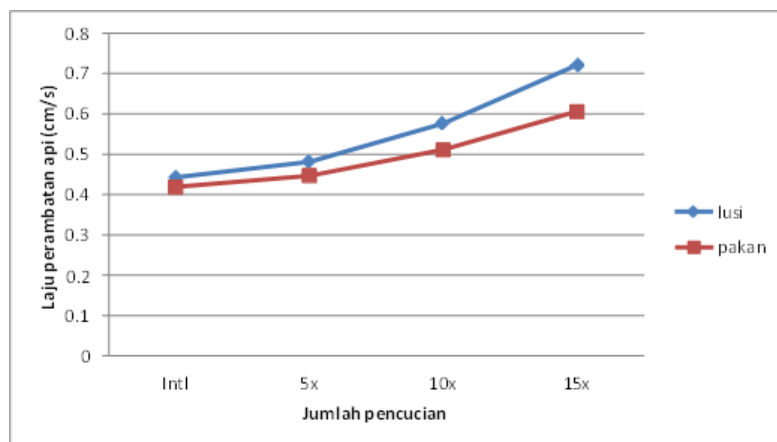
d. Pengujian ketahanan cuci

Pengujian ketahanan cuci dilakukan hanya pada sampel Dk, yakni sampel dengan performa ketahanan api terbaik. Pengujian dilakukan dengan mencuci kain sebanyak 5, 10, dan 15 kali. Setelah setiap siklus pencucian, kain diuji kembali menggunakan parameter yang sama seperti sebelum pencucian, meliputi pengujian pembakaran vertikal, kekakuan kain, dan daya tembus udara. Proses pencucian dan pengeringan dilakukan menggunakan mesin cuci otomatis sesuai prosedur yang telah ditetapkan.

Secara keseluruhan, kain yang menjalani uji ketahanan cuci masih mempertahankan performa yang cukup baik, terbukti dari kemampuan tahan apinya yang masih ada setelah 15 kali pencucian. Hal ini tidak terlepas dari peran thiourea yang berfungsi ganda, yaitu sebagai agen penyempurnaan tahan api sekaligus sebagai pengikat silang antara isolat dan serat kain, sehingga daya lekat zat pada kain tetap terjaga dengan baik. Capaian ini menjadi nilai tambah penting dibandingkan penelitian Meng et al. (2020), yang belum melaporkan data ketahanan cuci karena SPI hanya diaplikasikan sebagai pelapis permukaan tanpa proses pemanasawetan. Capaian ketahanan cuci ini juga relatif baik bila dibandingkan dengan sistem tahan api berbasis bahan alami lain yang umumnya kurang tahan terhadap pencucian; sebagai contoh, kain kapas yang diberi perlakuan kombinasi kitosan, asam fitat, dan serbuk cangkang telur dilaporkan tidak mampu mempertahankan sifat tahan apinya setelah proses pencucian, akibat sifat alami serta ikatan kimia yang lemah pada komponen biopolimer tersebut dan tidak adanya agen pengikat silang (Pereira et al., 2025). Hal ini menegaskan bahwa peran thiourea sebagai agen pengikat silang pada penelitian ini menjadi faktor kunci yang membedakan sekaligus menjadi keunggulan dibandingkan sistem tahan api berbasis bahan alami lain yang tidak menggunakan agen pengikat silang serupa.

e. Pengujian ketahanan cuci terhadap pembakaran

Perolehan uji pembakaran vertikal adalah tolok ukur utama daya tahan kain. Data disajikan dalam bentuk grafik dalam Gambar 8. Semakin banyak siklus pencucian yang dikerjakan, semakin tinggi kecepatan rambat api yang terukur dalam proses uji pembakaran vertikal. Kondisi tersebut terjadi akibat berkurangnya senyawa penyempurnaan yang melekat pada kain seiring berlangsungnya pencucian. Meskipun demikian, hingga pencucian ke-15, kain masih memperlihatkan kemampuan tahan api sebab angka kecepatan rambat apinya masih berada di bawah nilai blanko.

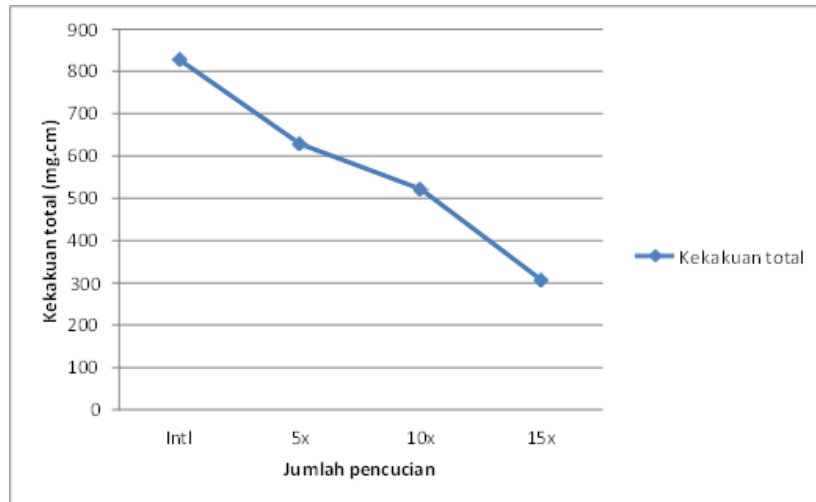


Gambar 8. Ketahanan cuci terhadap pembakaran kain

f. Pengujian ketahanan cuci terhadap kekakuan

Perolehan uji kekakuan kain berfungsi sebagai indikator eksistensi senyawa penyempurnaan pada kain, mengingat ikatan antara zat dan serat akan membuat kain berkecenderungan lebih kaku. Data pengujian dijelaskan dalam Gambar 9. Semakin sering pencucian yang dikerjakan, semakin rendah nilai kekakuan kain yang diperoleh, yang mencerminkan berkurangnya zat akibat proses pencucian. Namun demikian, hingga

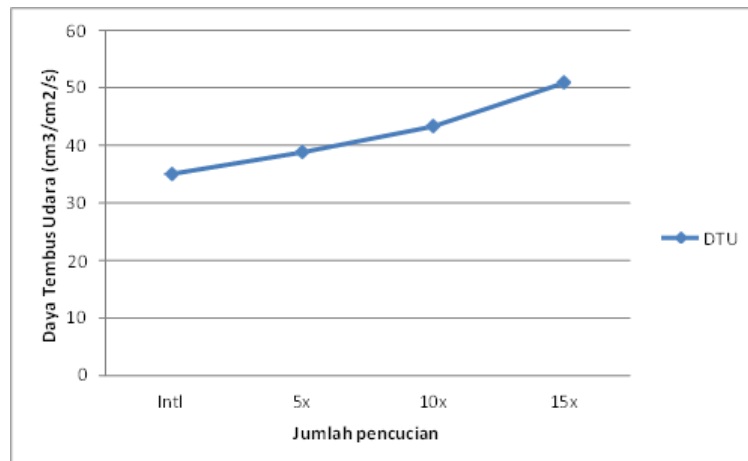
pencucian ke-15, nilai kekakuan kain masih lebih tinggi dibandingkan blanko, yang menandakan bahwa zat penyempurnaan tahan api masih tersisa dan terikat pada kain.



Gambar 9. Ketahanan cuci terhadap kekakuan kain

g. Pengujian ketahanan cuci terhadap daya tembus udara

Hasil uji daya tembus udara juga berfungsi sebagai indikator keberadaan zat pada kain, karena selama zat masih terikat pada serat, nilai daya tembus udara cenderung lebih rendah. Data disajikan pada Gambar 10. Semakin banyak pencucian yang dilakukan, semakin meningkat nilai daya tembus udara, yang mencerminkan berkurangnya zat akibat pencucian. Namun hingga pencucian ke-15, nilai daya tembus udara masih lebih rendah dibandingkan blanko, yang mengindikasikan bahwa zat penyempurnaan tahan api masih tetap terikat pada kain.



Gambar 10. Ketahanan cuci terhadap daya tembus udara kain

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengisolasi protein dari limbah ampas tahu (kadar protein 31,03%) dan mengaplikasikannya bersama thiourea pada kain poliester-kapas melalui metode pad-dry-cure. Komposisi optimum (SPI 5%, thiourea 10%) menurunkan laju pembakaran dari 4,725 cm/s menjadi 0,443 cm/s, meski diikuti peningkatan kekakuan dan penurunan daya tembus udara kain. Kontribusi utama penelitian ini adalah terbuktinya ketahanan cuci hingga 15 siklus pencucian berkat proses pemanasawetan, capaian yang belum dilaporkan pada penelitian SPI sebelumnya (Meng et al., 2020). Temuan ini menunjukkan bahwa limbah ampas tahu berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku zat tahan api yang ramah lingkungan dan ekonomis, dengan penelitian lanjutan disarankan untuk mengoptimalkan rendemen isolasi serta mengurangi trade-off antara performa tahan api dan kenyamanan kain.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih untuk semua pihak yang sudah memberi dukungan, bantuan, serta bimbingan dalam penyelesaian riset ini. Terima kasih untuk dosen pembimbing yang sudah mengarahkan dan memberi masukan sepanjang pelaksanaan penelitian. Ucapan terima kasih juga disampaikan untuk seluruh staf laboratorium yang sudah menyediakan fasilitas untuk melaksanakan pengujian, dan teman-teman mahasiswa yang telah memberikan dukungan moral maupun teknis. Tidak lupa, penulis menyampaikan terima kasih untuk keluarga berkat doa serta dukungan yang tiada henti selama penelitian ini dilaksanakan.

6. Daftar Pustaka

- Alongi, J., Carosio, F., & Malucelli, G. (2014). Current emerging techniques to impart flame retardancy to fabrics: an overview. *Polymer Degradation and Stability*, 106, 138–149.
- Astari, P., & Samsurya, B. (2008). *Pra Rancangan Pabrik Pencelupan Kain Campuran Poliester-Kapas Menggunakan Zat Warna Dispersi-Reaktif dengan Kapasitas 21.400. 000 Yards/Tahun*.
- Basak, S., & Ali, S. W. (2018). Fire resistant behaviour of cellulosic textile functionalized with wastage plant bio-molecules: a comparative scientific report. *International Journal of Biological Macromolecules*, 114, 169–180.
- Basak, S., Samanta, K. K., Chattopadhyay, S. K., & Narkar, R. (2015). Thermally stable cellulosic paper made using banana pseudostem sap, a wasted by-product. *Cellulose*, 22(4), 2767–2776.
- Bosco, F., Carletto, R. A., Alongi, J., Marmo, L., Di Blasio, A., & Malucelli, G. (2013). Thermal stability and flame resistance of cotton fabrics treated with whey proteins. *Carbohydrate Polymers*, 94(1), 372–377.
- Grootemaat, S., Wright, I. J., van Bodegom, P. M., Cornelissen, J. H. C., & Cornwell, W. K. (2015). Burn or rot: leaf traits explain why flammability and decomposability are decoupled across species. *Functional Ecology*, 29(11), 1486–1497.
- Inagaki, N., Hamajima, K., & Katsuura, K. (1978). Flame-retardant action of chlorine compounds and antimony trioxide on cellulose fabric. *Journal of Applied Polymer Science*, 22(11), 3283–3291.
- Jiang, Q., Li, P., Liu, Y., & Zhu, P. (2023). Flame retardant cotton fabrics with anti-UV properties based on tea polyphenol-melamine-phenylphosphonic acid. *Journal of colloid and interface science*, 629, 392–403.
- Jun-xia, X., Hai-yan, Y., & Jian, Y. (2011). Microencapsulation of sweet orange oil by complex coacervation with soybean protein isolate/gum Arabic. *Food Chemistry*, 125(4), 1267–1272.
- Kandola, B. K., Horrocks, A. R., Price, D., & Coleman, G. V. (1996). Flame-retardant treatments of cellulose and their influence on the mechanism of cellulose pyrolysis. *Journal of Macromolecular Science, Part C: Polymer Reviews*, 36(4), 721–794.
- Lehninger, A. L. (1993). *Dasar-dasar biokimia* (Terjemahan, Jilid 1). Erlangga.
- Liu, K. (1997). Chemistry and nutritional value of soybean components. In *Soybeans: chemistry, technology, and utilization* (pp. 25–113). Springer.
- Malucelli, G. (2019). Biomacromolecules and bio-sourced products for the design of flame retarded fabrics: current state of the art and future perspectives. *Molecules*, 24(20), 3774.
- Meng, D., Guo, J., Wang, A., Gu, X., Wang, Z., Jiang, S., & Zhang, S. (2020). The fire performance of polyamide66 fabric coated with soybean protein isolation. *Progress in Organic Coatings*, 148, 105835.
- Nurdjannah, N., & Usmiati, S. (2006). Isolasi dan karakterisasi protein ampas tahu. *Indonesian Journal of Agricultural Postharvest Research*, 3(2), 83–95. <https://doi.org/10.21082/jpasca.v3n2.2006.83-95>
- Patil, V. M., & Desmukh, A. (2012). Some studies of temporary and permanent flame retardants on 100% cotton fabric. *Textile and Fashion Proceedings on RMUTP International Conference. SAGE, India*, 272–278.
- Pereira, A., et al. (2025). Bio-based flame retardant for cotton fabric prepared from eggshell microparticles, phytic acid, and chitosan: An eco-friendly approach for dry use. *Processes*, 13(9), 2690. <https://doi.org/10.3390/pr13092690>
- Poedjiadi, A. (1994). *Dasar-dasar biokimia*. Universitas Indonesia Press.
- Sina, I., Harwanto, U. N., & Mubarak, Z. R. (2021). Analisis pengolahan limbah padat tahu terhadap alternatif industri pangan sosis (Grade B). *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, 5(1), 52–60.
- Sudarmadji, S., Suhardi, & Haryono, B. (1989). *Analisa bahan makanan dan pertanian*. Liberty Yogyakarta

- Teli, M. D., & Pandit, P. (2017). Novel method of ecofriendly single bath dyeing and functional finishing of wool protein with coconut shell extract biomolecules. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 5(9), 8323–8333.
- Tian, H., Guo, G., Fu, X., Yao, Y., Yuan, L., & Xiang, A. (2018). Fabrication, properties and applications of soy-protein-based materials: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 120, 475–490.
- Villamil Watson, D. A., & Schiraldi, D. A. (2020). Biomolecules as flame retardant additives for polymers: a review. *Polymers*, 12(4), 849.
- Wardlaw, G. M., & Kessel, M. W. (2002). *Minerals. Perspectives in Nutrition*, 5th Ed., McGraw-Hill Publ. Co., Ltd., Int. Ed., NY, USA.
- Yulianti, Y., Luciana, L., Nurherawati, F., & Pravitasari, F. (2025). Pengaruh pemakaian Primusan Ocean pada proses pengelantangan kain rajut kapas 100% dengan metode exhaust. *Jurnal Tekstil: Jurnal Keilmuan dan Aplikasi Bidang Tekstil dan Manajemen Industri*, 8(2), 120–129. <https://doi.org/10.59432/jurnaltekstil.v8i2.166>