

Optimasi Jenis dan Konsentrasi *Plasticizer* terhadap Kualitas Fisik Sabun Kertas: Pendekatan Desain Faktorial

Optimization of Plasticizer Type and Concentration on the Physical Quality of Paper Soap: A Factorial Design Approach

Lu'lu' Fadlila 'Aziz* and Haryanto

Departement of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jl. A. Yani, Pabelan, Kartasura, Sukoharjo, 57162, Central Java, Indonesia

*Corresponding Author: d500241008@student.ums.ac.id

ABSTRAK

Sabun kertas merupakan inovasi sabun padat berbentuk lembaran tipis yang praktis untuk berpergian, namun kerapuhan berlebihan masih menjadi tantangan produksi. Penelitian ini membandingkan pengaruh lima jenis *plasticizer* (gliserin, propilen glikol, polietilen glikol (PEG-400), sorbitol, dan sukrosa) dengan konsentrasi 5%, 10%, 15%, 20%, serta 0% sebagai kontrol, terhadap kualitas fisik sabun kertas berdasarkan standar SNI 2048:2020. Studi eksperimental menggunakan desain faktorial 5x5 dengan analisis MANOVA untuk menguji ketahanan lipatan, pH, stabilitas busa, dan waktu larut. Gliserin 20% hasil optimal: ketahanan lipatan tinggi (14,67 kali lipat), stabilitas busa 91,56%, waktu pelarutan 105 detik, dan pH 9,06. Sorbitol 15-20% dapat menjadi alternatif dengan pH lebih tinggi, namun ketahanan lipatannya sedang. PEG-400 dan sukrosa menunjukkan ketahanan lipatan yang rendah meskipun mempercepat pelarutan. Gliserin 20% merupakan formulasi optimal karena memberikan keseimbangan terbaik antara ketahanan lipatan, stabilitas busa, dan pelarutan.

Kata kunci: gliserin, MANOVA, *plasticizer*, sabun kertas, sifat fisik, SNI 2048:2020

ABSTRACT

Paper soap is an innovative solid soap in the form of thin sheets that is practical for travel, but excessive brittleness remains a production challenge. This study compared the effects of five types of plasticizers (glycerin, propylene glycol, polyethylene glycol (PEG-400), sorbitol, and sucrose) at concentrations of 5%, 10%, 15%, 20%, and 0% (as a control) on the physical quality of paper soap based on the SNI 2048:2020 standard. The experimental study used a 5x5 factorial design with MANOVA analysis to test ketahanan lipatan, pH, foam stability, and dissolution time. Glycerin at 20% yielded optimal results: high ketahanan lipatan (14.67 times higher), 91.56% foam stability, a dissolution time of 105 seconds, and a pH of 9.06. Sorbitol at 15–20% can serve as an alternative with a higher pH, though its ketahanan lipatan is moderate. PEG-400 and sucrose exhibit low ketahanan lipatan despite accelerating dissolution. A 20% glycerin formulation is optimal because it provides the best balance between ketahanan lipatan, foam stability, and dissolution.

Keywords: *glycerin, MANOVA, paper soap, physical properties, plasticizer, SNI 2048:2020*

PENDAHULUAN

Sabun kertas merupakan sabun padat yang diproduksi lembaran tipis seperti kertas. Berbeda dengan sabun batangan atau sabun cair, sabun kertas memberikan manfaat seperti kemudahan dalam penggunaan, berat yang ringan, serta kenyamanan saat digunakan sekali pakai, sehingga tidak memerlukan wadah atau kemasan tambahan (Rahmiati et al., 2022). Penggunaan sabun kertas lebih efisien dan mudah dibawa kemana saja tanpa mengurangi kualitas sabun sebagai pembersih (Silviyati et al., 2024). Akan tetapi, masalah yang sering muncul dalam produksi sabun kertas meliputi, kekakuan yang berlebihan yang menyebabkan produk mudah pecah selama proses penggunaan, serta kelembutan berlebihan yang memicu lembaran saling menempel dan kehilangan bentuk struktur (Islamiati et al., 2023).

Kualitas fisik sabun kertas sangat tergantung pada komposisi bahan baku, terutama jenis dan kadar *plasticizer* yang digunakan (Widyasanti et al., 2018). *Plasticizer* adalah bahan tambahan yang berfungsi meningkatkan ketahanan lipatan, daya tahan, serta kemampuan kerja bahan berbasis polimer (Eryani et al., 2023). Jenis-jenis *plasticizer* yang sering digunakan seperti gliserin, propilen glikol, polietilen glikol (PEG-400), sorbitol, dan sukrosa telah diterapkan dalam bidang kosmetik dan farmasi, masing-masing memberikan sifat dan efek yang berbeda dalam memengaruhi karakteristik produk (Barel et al., 2022). Untuk memastikan kelayakan sabun kertas sebagai produk kebersihan, pengecekan kualitas fisiknya harus memenuhi standar SNI 2048:2020 yang sudah ditetapkan.

Meskipun sabun kertas sudah tersedia secara komersial, penelitian ilmiah yang menyelidiki perbandingan antara berbagai jenis *plasticizer* dan konsentrasi optimalnya masih terbatas. Penelitian sebelumnya cenderung fokus pada formulasi sabun konvensional atau efek dari *plasticizer* tunggal, tetapi analisis komparatif yang menyeluruh terhadap berbagai jenis *plasticizer* dalam berbagai kadar untuk aplikasi sabun kertas masih kurang. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan pengaruh lima jenis *plasticizer* (gliserin, propilen glikol, PEG-400, sorbitol, dan sukrosa) pada berbagai konsentrasi terhadap kualitas fisik sabun kertas, meliputi ketahanan lipatan, pH, stabilitas busa, dan waktu larut, dengan mengacu pada parameter standar SNI 2048:2020. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan rekomendasi formulasi *plasticizer* yang optimal untuk menghasilkan sabun kertas dengan kualitas tinggi.

METODE PENELITIAN

Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan rancangan faktorial 5x5 dengan dua faktor utama. Faktor pertama adalah jenis *plasticizer* yang terdiri atas lima jenis, yaitu gliserin (cair, kemurnian 99%), propilen glikol (cair, kemurnian 99%), polietilen glikol 400 (PEG-400, cair), sorbitol (larutan cair, 70%), dan sukrosa dalam bentuk gula pasir. Faktor kedua adalah konsentrasi *plasticizer* yang juga terdiri atas lima level, meliputi 0% (0 g sebagai kontrol), 5% (7 g dari total 140 g), 10% (14 g dari total 140 g), 15% (21 g dari total 140 g), dan 20% (28 g dari total 140 g). Peningkatan konsentrasi *plasticizer* dilakukan dengan mengurangi massa aquades tambahan, sedangkan komponen basis sabun lainnya dipertahankan tetap, sehingga total massa formulasi tetap sebesar 140 g.

Tabel 1 Komposisi Formula Sabun Kertas pada Setiap Pelakuan

Formula	<i>Plasticizer</i> (g)	Aquades untuk NaOH (g)	Aquades tambahan (g)	Total (g)
0%	0	30	28,28	140

Formula	<i>Plasticizer</i> (g)	Aquades untuk NaOH (g)	Aquades tambahan (g)	Total (g)
5%	7	30	21,28	140
10%	14	30	14,28	140
15%	21	30	7,28	140
20%	28	30	0,28	140

Komponen tetap: minyak 50 g, asam stearat 5 g, NaOH padat 5,87 g, asam sitrat 0,25 g, alkohol 96% 20g, pewangi 0,5 g, pewarna 0,1 g

Note: Peningkatan konsentrasi *plasticizer* dilakukan dengan mengurangi aquades tambahan untuk mempertahankan total massa formulasi sebesar 140 g. Setiap penambahan 1 g *plasticizer* dilakukan dengan mengurangi 1 g aquades.

Kombinasi antara lima jenis *plasticizer* dan lima konsentrasi menghasilkan 25 perlakuan. Setiap kombinasi perlakuan diberikan kode formulasi sebagaimana disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Matriks Kombinasi Perlakuan Jenis dan Konsentrasi *Plasticizer*

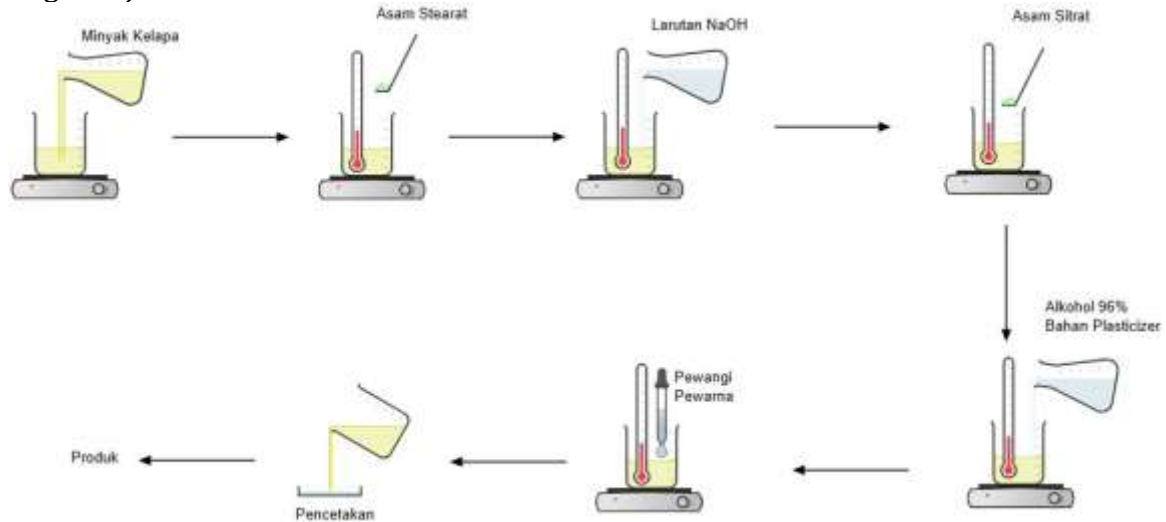
Jenis <i>Plasticizer</i>	0%	5%	10%	15%	20%
Gliserin	F1	F2	F3	F4	F5
Propilen Glikol	F6	F7	F8	F9	F10
PEG-40	F11	F12	F13	F14	F15
Sorbitol	F16	F17	F18	F19	F20
Sukrosa	F21	F22	F23	F24	F25

Pembuatan Sabun Kertas

Proses pembuatan sabun melalui proses saponifikasi (Aznury et al., 2022). Sebanyak 50 g minyak kelapa dimasukkan dalam gelas beaker, dan ditambahkan 5 g asam stearat sebagai bahan pengeras dan peningkat kualitas sabun. Campuran dipanaskan pada suhu 60-65°C menggunakan *hotplate* dengan pengaduk magnetik pada 600 rpm selama 10 menit hingga asam stearat larut sempurna. Larutan NaOH (16,4%, b/b) disiapkan dengan melarutkan 5,87 g NaOH dalam 30 g aquades. Massa NaOH yang digunakan dihitung berdasarkan bilangan penyabunan untuk memenuhi kebutuhan reaksi saponifikasi. Setelah asam stearat larut, larutan NaOH ditambahkan ke dalam campuran minyak.

Suhu dijaga 70°C untuk memastikan reaksi penyabunan berlangsung optimal. Pemanasan dilakukan selama 20 menit dengan kecepatan pengadukan 600 rpm, hingga campuran mulai mengental, yang menandakan terbentuknya sabun melalui reaksi saponifikasi antara asam lemak dengan basa. Setelah proses saponifikasi, tahap berikutnya adalah penambahan bahan-bahan pelengkap sesuai urutan yang telah ditentukan. Pertama, asam sitrat sebanyak 0,25 g ditambahkan sebagai pengatur pH dan pengawet alami. Kemudian bahan *plasticizer* dan aquades ditambahkan sesuai dengan formulasi pada Tabel 1. Selanjutnya, ditambahkan alkohol 96% sebanyak 20g untuk membantu proses homogenisasi dan mempercepat waktu pengeringan. Pada tahap terakhir, pewangi 0,5 g dan pewarna 0,1 g ditambahkan untuk

meningkatkan daya tarik estetika produk. Setelah semua bahan tercampur homogen, campuran sabun segera dituangkan ke dalam cetakan datar yang telah disiapkan untuk mencapai ketebalan sekitar 1 mm. Lembaran sabun yang telah dicetak dibiarkan kering pada suhu ruang selama 24-48 jam. Setelah proses pengeringan selesai dan sabun benar-benar kering, sabun dipotong menjadi lembaran berukuran 3 cm x 5 cm.



Gambar 1. Diagram Alir Pembuatan Sabun Kertas

Pengujian

Semua parameter pengujian dilakukan dengan tiga kali pengulangan ($n = 3$) untuk setiap perlakuan pada suhu ruang. Pengukuran pH dilakukan untuk mengetahui tingkat keasaman atau kebasaan sabun, dengan cara melarutkan satu gram sabun kertas dalam 10 mL aquades menggunakan pengaduk magnetik dengan kecepatan 600 rpm hingga larut sempurna, kemudian pH larutan diukur menggunakan pH meter digital. Sementara itu, pengujian waktu larut bertujuan untuk menentukan kecepatan sabun kertas larut dalam air, dimana satu gram sabun kertas dilarutkan dalam 10 mL aquades dengan pengadukan pada kecepatan 600 rpm, dan waktu yang dibutuhkan sabun hingga larut sempurna dicatat.

Stabilitas busa merupakan parameter penting yang menunjukkan kemampuan sabun mempertahankan busa selama penggunaan. Pengukuran dilakukan dengan mengamati tinggi busa yang terbentuk dan dicatat sebagai h_0 , kemudian larutan sabun berbusa didiamkan selama 1 jam dan tinggi busa diukur kembali sebagai h_1 . Stabilitas busa dihitung menggunakan Persamaan (1):

$$\text{Stabilitas Busa (\%)} = \frac{h_1}{h_0} \times 100\%$$

Dimana:

h_0 = tinggi busa awal (cm)

h_1 = tinggi busa setelah didiamkan selama 1 jam (cm)

Selanjutnya, pengujian ketahanan lipatan dilakukan dengan metode modifikasi folding endurance secara manual untuk mengevaluasi ketahanan lipatan dan kekuatan mekanik sabun kertas. Lembaran sabun dicetak dengan ukuran 3x5 cm sebagai ukuran produk akhir. Untuk pengujian ketahanan lipatan, lembaran dipotong menjadi ukuran 2×2 cm agar diperoleh ukuran sampel yang seragam dan mudah dilipat selama pengujian. Seluruh pengujian dilakukan oleh operator yang sama. Sampel dilipat hingga sudut $\pm 180^\circ$ dengan kecepatan sekitar satu siklus lipatan per detik untuk meminimalkan variasi pengujian. Jumlah lipatan yang ditahan sebelum retakan atau putus pertama dicatat sebagai ketahanan lipatan. Parameter ini penting untuk

menilai daya tahan sabun kertas selama penyimpanan dan penanganan, dimana sabun dengan lipatan yang tinggi menunjukkan ketahanan lipatan yang baik dan tidak mudah rusak.

Analisis Data

Analisis data dilakukan menggunakan *Multivariate Analysis of Variance* (MANOVA) dilakukan untuk mengevaluasi secara simultan pengaruh jenis dan konsentrasi *plasticizer* terhadap beberapa variabel dependen (ketahanan lipatan, pH, stabilitas busa, waktu larut). MANOVA dipilih karena metode ini mampu menganalisis pengaruh beberapa variabel independen terhadap beberapa variabel dependen secara bersamaan dengan mempertimbangkan korelasi antar variabel dependen (Hair et al., 2009). Analisis ini juga dapat mendeteksi interaksi antara jenis dan konsentrasi *plasticizer* terhadap sifat-sifat sabun kertas yang dihasilkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tampilan Visual Formulasi Sabun Kertas

Semua 25 formulasi sabun kertas berhasil dibuat, dengan desain faktorial 5x5 dari jenis *plasticizer* dan konsentrasi *plasticizer*. Gambar 2 menampilkan visual sabun kertas yang diperoleh dari setiap formulasi setelah proses pengeringan dan pemotongan.

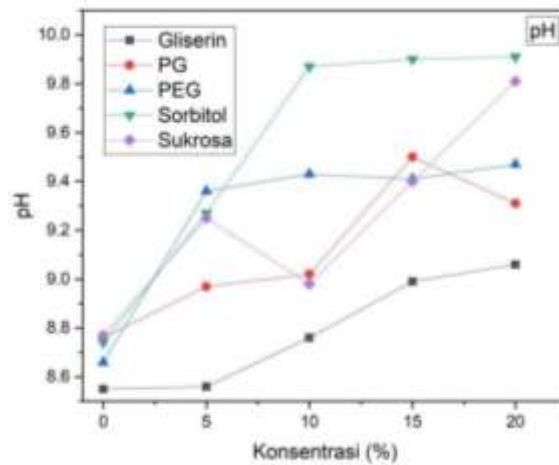


Gambar 2. Tampilan Visual Sabun Kertas Setiap Formulasi

Hasil pengamatan visual menunjukkan adanya perbedaan yang jelas pada sifat fisik sabun kertas, tergantung jenis dan konsentrasi *plasticizer* yang digunakan. Sabun dengan gliserin pada konsentrasi 5%-20% (F2-F5) menghasilkan lembaran yang paling transparan dan lentur. Sebaliknya, sampel tanpa *plasticizer* (F1, F6, F11, F16, F21) terlihat lebih rapuh dan mudah retak. Propilen Glikol (F7-F10) menunjukkan karakteristik yang mirip dengan gliserin. Formulasi PEG-400 (F12-15) menghasilkan lembaran yang sedikit buram dan mudah rapuh, sedangkan sorbitol (F17-F20) memiliki tampilan paling buram dan sedikit lengket. Pada formulasi sukrosa (F22-F25), terlihat kristal gula halus pada permukaan lembaran. Perbedaan karakteristik visual tersebut dipengaruhi oleh sifat fisikokimia masing-masing *plasticizer*. Gliserin dan propilen glikol sebagai senyawa poliol dapat membentuk ikatan hidrogen dengan matriks sabun sehingga menghasilkan lembaran yang lebih lentur. Sebaliknya, PEG-400 memiliki rantai polimer lebih panjang cenderung menghasilkan lembaran yang lebih kaku. Sorbitol yang bersifat higroskopis menyebabkan permukaan lebih lembap, sedangkan kristalisasi sukrosa selama pengeringan menyebabkan munculnya kristal pada permukaan lembaran.

Analisis pH

Nilai pH sabun kertas dipengaruhi oleh jenis dan konsentrasi *plasticizer*, seperti yang ditunjukkan pada gambar 3. SNI 2048:2020 menetapkan kisaran pH yang dapat diterima sebesar 8-10 untuk produk sabun (Badan Standardisasi Nasional, 2020).

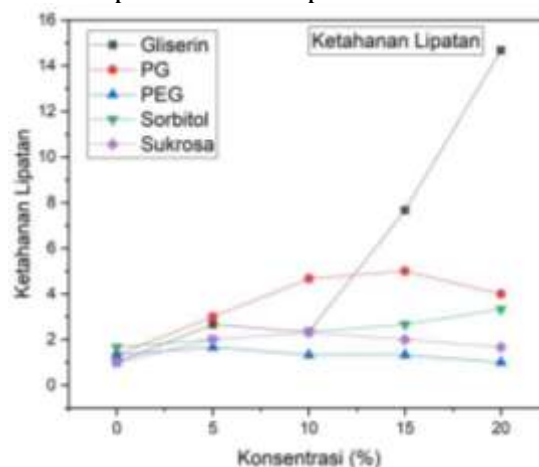


Gambar 3. Analisis pH pada setiap Formulasi Sabun Kertas

Formulasi gliserin menunjukkan nilai pH terendah 8,5-9,06. Propilen glikol (PG) menunjukkan pola yang tidak teratur, dimulai dari 8,76 (0%) mencapai puncak pada 9,5 (15%), kemudian menurun menjadi 9,3 (20%). Pada PEG-400 menunjukkan nilai pH yang stabil dari 8,66 (0%) hingga 9,48 (20%). Sorbitol menghasilkan nilai pH tertinggi, berkisar dari 9,27 (5%) hingga 9,91 (20%). Meskipun demikian, semua konsentrasi sorbitol memenuhi persyaratan SNI. Formulasi sukrosa berkisar dari 8,77 (0%) hingga 9,81 (20%), menunjukkan variasi pH yang cukup besar, terutama pada konsentrasi 10%. Peningkatan pH ini tidak dapat dijelaskan oleh sifat basa langsung dari *plasticizer*, karena senyawa poliol bersifat netral dan tidak melepaskan ion OH^- (Rowe et al., 2009). Fenomena ini diduga berkaitan dengan sifat higroskopis *plasticizer* yang mempengaruhi kondisi hidrasi matriks sabun, sehingga menghasilkan variasi nilai pH antar formulasi (Spitz, 2016).

Analisis ketahanan lipatan

ketahanan lipatan sabun kertas sangat penting karena menentukan apakah lembaran sabun mudah dilipat tanpa patah. Pada penelitian ini, ketahanan lipatan diukur berdasarkan jumlah lipatan yang dapat ditahan sebelum sabun putus. Gambar 4 menunjukkan pengaruh jenis dan konsentrasi *plasticizer* terhadap ketahanan lipatan.



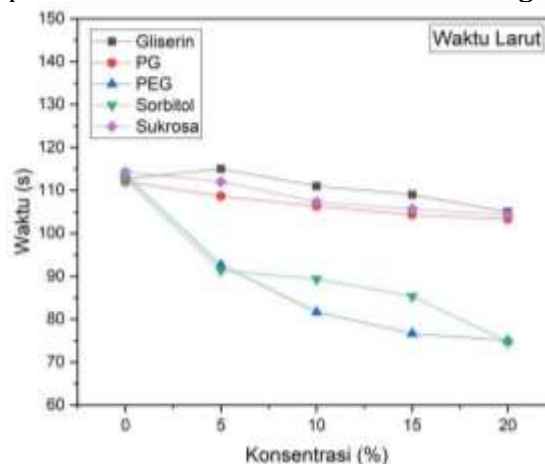
Gambar 4. Analisis ketahanan lipatan pada setiap Formulasi Sabun Kertas

Gliserin menunjukkan peningkatan yang paling signifikan, tanpa *plasticizer* sabun hanya mampu dilipat 1 kali, sedangkan pada konsentrasi gliserin 20% ketahanan lipatannya meningkat hingga sekitar 15 kali lipatan. Hal ini menunjukkan bahwa gliserin sangat efektif sebagai *plasticizer* karena mampu melemahkan ikatan antar molekul sabun sehingga struktur menjadi lebih lentur (Jaderi et al., 2023). Propilen Glikol (PG) juga meningkatkan ketahanan lipatan, namun tidak sebesar gliserin. ketahanan lipatan meningkat hingga konsentrasi 15% (5 kali lipat), kemudian menurun menjadi 4 kali lipat pada konsentrasi 20%. Penurunan ini menunjukkan bahwa jumlah PG yang terlalu tinggi justru membuat struktur sabun kurang stabil. PEG-400 menunjukkan peningkatan ketahanan lipatan minimal. Pada semua konsentrasi sabun tetap relatif kaku, tetap antara 1-1,6 kali lipat di semua konsentrasi, sehingga PEG-400 kurang efektif untuk meningkatkan ketahanan lipatan sabun kertas.

Sorbitol menunjukkan peningkatan bertahap dari 1,67 kali lipat (0%) menjadi 3,3 kali lipat (20%). Namun, peningkatannya tetap terbatas. Hal ini diduga karena sorbitol yang sangat kental dan mudah menyerap air, sehingga kelembapan berlebih justru melemahkan kekuatan mekanik sabun (Paudel et al., 2023). Sukrosa hanya sedikit meningkatkan ketahanan lipatan pada konsentrasi tinggi, berkisar dari 1 kali lipat (0%) hingga 2,33 kali lipat (10%), kemudian menurun menjadi 1,67 kali lipat (20%). Hal ini menunjukkan bahwa sukrosa kurang efektif sebagai *plasticizer* untuk meningkatkan ketahanan lipatan sabun kertas. Sabun tanpa *plasticizer* (0%) menunjukkan ketahanan lipatan yang rendah pada semua pengujian, yang menegaskan bahwa penambahan *plasticizer* sangat diperlukan (Snejdrova & Dittrich, 2012). Secara keseluruhan, gliserin pada konsentrasi 20% memberikan ketahanan lipatan terbaik dan paling sesuai untuk aplikasi sabun kertas.

Analisis Waktu Larut

Waktu pelarutan merupakan faktor penting yang mempengaruhi kenyamanan penggunaan sabun kertas. Gambar 5 menunjukkan pengaruh jenis *plasticizer* dan konsentrasi *plasticizer* terhadap waktu pelarutan sabun dalam 10 mL air dengan pengadukan 600 rpm.



Gambar 5. Analisis Waktu Larut pada setiap Formulasi Sabun Kertas

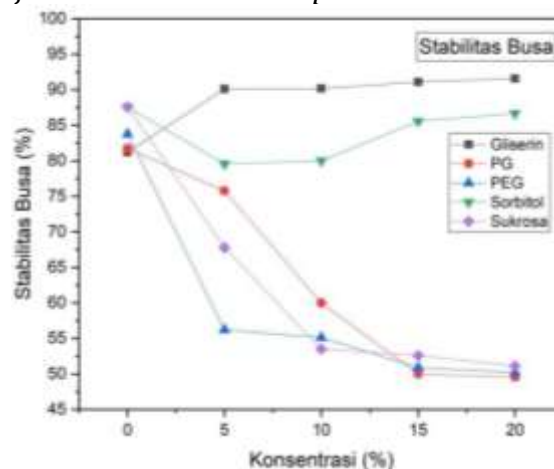
Sabun dengan gliserin memiliki waktu pelarutan paling lama, dengan waktu berkisar 112,67 detik (0%) hingga 115 detik (5%), kemudian secara bertahap menurun menjadi 109 detik (15%) dan 105 detik (20%). Hal ini terjadi karena gliserin sangat kuat mengikat air, sehingga membentuk lapisan terdehidrasi di sekitar partikel sabun dan memperlambat masuknya air ke dalam matriks sabun (Tarique et al., 2021). Propilen Glikol (PG) menunjukkan perilaku yang hampir sama dengan gliserin, namun dengan waktu pelarutan sedikit lebih cepat, berkisar 112 detik (0%) hingga 108,67 detik (5%), dan selanjutnya turun menjadi 103,33 detik (20%). Sifatnya yang seimbang antara hidrofilik dan hidrofobik menyebabkan pelarutan berlangsung tidak secara ekstrem (Barel et al., 2022). PEG-400 menghasilkan waktu pelarutan

paling cepat dibandingkan *plasticizer* lainnya, dengan penurunan tajam dari 113,67 detik (0%) menjadi 92,67 detik (5%), kemudian 81,67 detik (10%), 76,67 detik (15%), dan 75 detik (20%). Semakin tinggi konsentrasinya, waktu pelarutan semakin singkat. Hal ini disebabkan oleh kelarutan PEG-400 yang sangat baik dalam air serta kemampuannya melembahkan struktur matriks sabun, sehingga air lebih mudah masuk dan melarutkan sabun (D'souza & Shegokar, 2016).

Sorbitol menunjukkan waktu pelarutan menengah, dengan penurunan waktu yang bertahap seiring peningkatan konsentrasi. Menurun dari 112,67 detik (0%) menjadi 91,33 detik (5%), 89,33 detik (10%), 85,33 detik (15%), dan 74,67 detik (20%). Sifat sorbitol yang higroskopis membantu menarik air ke dalam matriks sabun dan mempercepat proses pelarutan (Zhang et al., 2023). Sementara, sukrosa hanya memberikan pengaruh kecil terhadap waktu pelarutan, berkisar dari 114,33 detik (0%) hingga 112 detik (5%), dengan sedikit penurunan menjadi 107,33 detik (10%) dan 105 hingga 104 detik pada konsentrasi lebih tinggi. Perubahan waktu pelarutan relatif tidak signifikan karena sukrosa cenderung membentuk kristal yang tidak banyak mengubah struktur sabun. Secara umum, peningkatan konsentrasi *plasticizer* cenderung mempercepat pelarutan sabun karena menjadi lebih berpori dan ikatan antarmolekul melemah. Formulasi dengan PEG-400 dan sorbitol pada konsentrasi 20% menghasilkan pelarutan tercepat, sehingga memberikan kenyamanan penggunaan yang paling optimal.

Analisis Stabilitas Busa

Stabilitas busa menunjukkan seberapa lama busa sabun dapat bertahan dan menjadi salah satu indikator penting kualitas sabun, serta kepuasan pengguna. Pada penelitian ini, stabilitas busa diukur sebagai presentasi tinggi busa yang masih tersisa setelah 1 jam. Gambar 6 memperlihatkan pengaruh jenis dan konsentrasi *plasticizer* terhadap stabilitas busa sabun.



Gambar 6. Analisis Stabilitas Busa pada setiap Formulasi Sabun

Sabun dengan gliserin menghasilkan stabilitas busa paling baik dibandingkan *plasticizer* lainnya, berkisar dari 81,20% (0%) hingga 91,56% (20%). Semakin tinggi konsentrasi gliserin, semakin stabil busa yang dihasilkan. Hal ini terjadi karena gliserin mampu berinteraksi dengan air dan struktur sabun, sehingga dinding gelembung busa menjadi lebih kuat dan tidak mudah pecah (Rowe et al., 2009). Propilen glikol (PG) menunjukkan stabilitas busa sedang pada konsentrasi rendah, namun stabilitasnya menurun tajam pada konsentrasi yang lebih tinggi, dimulai dari 81,75% (0%), menurun menjadi 75,77% (5%), kemudian turun tajam menjadi 60,0% (10%), 50,89% (15%) dan 49,56% pada konsentrasi 20%. Kondisi ini menandakan bahwa propilen glikol dalam jumlah besar justru merusak struktur busa, sehingga busa lebih cepat runtuh. PEG-400 memberikan stabilitas busa yang rendah pada semua konsentrasi, menurun dari 83,76,0% (0%) menjadi 56,22 (5%), kemudian stabil pada 55,11-50,22 % untuk

konsentrasi 10-20%. Penurunan stabilitas ini menunjukkan bahwa PEG-400 mengganggu pembentukan struktur busa yang baik, sehingga busa yang terbentuk tidak dapat bertahan lama.

Sorbitol menghasilkan stabilitas busa yang cukup baik, terutama pada konsentrasi tinggi. Setelah sedikit menurun pada konsentrasi rendah, dimulai dari 87,55% (0%) turun menjadi 79,56% (5%) dan 80,00% (10%), kemudian stabilitas busa meningkat kembali ketika konsentrasi sorbitol ditingkatkan, menjadi 85,56% (15%) dan 86,67 pada konsentrasi 20%. Sifat sorbitol yang mampu menahan air membantu menjaga kelembapan lapisan busa sehingga busa tidak cepat mengering dan pecah. Sukrosa menunjukkan stabilitas busa yang tinggi pada awalnya 87,7% (0%), namun semakin menurun seiring peningkatan konsentrasi, menjadi 67,5% (5%), 53,5-51,11% pada konsentrasi 10%-20%. Hal ini disebabkan oleh pembentukan kristal gula yang mengganggu struktur busa dan melemahkan dinding gelembung (Zahran, 2024). Secara umum, sabun tanpa *plasticizer* sudah memiliki stabilitas busa yang cukup baik. Namun, penambahan gliserin pada konsentrasi 10% atau lebih serta sorbitol pada konsentrasi 15% atau lebih, menghasilkan busa yang paling stabil sehingga lebih sesuai untuk aplikasi yang efektif.

Analisis MANOVA

Analisis MANOVA dilakukan untuk melihat pengaruh jenis dan konsentrasi *plasticizer* secara bersamaan terhadap beberapa sifat sabun kertas, yaitu pH, waktu larut, ketahanan lipatan, dan stabilitas busa. Hasil analisis menunjukkan bahwa jenis *plasticizer*, konsentrasi *plasticizer*, serta interaksi keduanya memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap seluruh parameter yang diuji. Tabel 1 menunjukkan hasil MANOVA untuk pengaruh jenis *plasticizer*

Tabel 3. Hasil MANOVA Pengaruh Jenis *plasticizer*

Kriteria	Statistik Uji	Approx F	DF		P-value
			Num	Denom	
Wilks' Lamba	0,00538	40,840	16	144	0,0001
Lawley-Hotelling	18,34815	52,178	16	182	0,0001
Pillai's	2,48285	20,456	16	200	0,0001

Hasil uji statistik multivariat menunjukkan bahwa setiap jenis *plasticizer* memberikan perbedaan yang sangat nyata terhadap karakteristik sabun kertas. Variasi terbesar dalam data terutama dipengaruhi oleh pH dan ketahanan lipatan, yang menjadi parameter utama pembeda antar formulasi. Temuan ini menunjukkan bahwa pemilihan jenis *plasticizer* sangat menentukan sifat akhir sabun kertas, di mana gliserin dan sorbitol memberikan karakteristik yang berbeda secara jelas dibandingkan PEG-400 dan sukrosa.

Tabel 4. Hasil MANOVA Pengaruh Konsentrasi *plasticizer*

Kriteria	Statistik Uji	Approx F	DF		P-value
			Num	Denom	
Wilks' Lamba	0,03810	17,253	16	144	0,0001
Lawley-Hotelling	16,79002	47,747	16	182	0,0001
Pillai's	1,29394	5,977	16	200	0,0001

Selain jenisnya, konsentrasi *plasticizer* juga berpengaruh besar terhadap sifat sabun kertas. Perubahan konsentrasi terutama mempengaruhi pH dan ketahanan lipatan, yang merupakan

parameter paling sensitif. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan atau penurunan konsentrasi *plasticizer* akan langsung berdampak pada kestabilan kimia dan ketahanan lipatan sabun.

Tabel 5. Efek Interaksi Jenis dan Konsentrasi *plasticizer*

Kriteria	Statistik Uji	Approx F	DF		P-value
			Num	Denom	
Wilks' Lamba	0,00497	8,372	64	186	0,0001
Lawley-Hotelling	20,04457	14,250	64	182	0,0001
Pillai's	2,57996	5,678	64	200	0,0001

Analisis juga menunjukkan adanya interaksi yang sangat signifikan antara jenis dan konsentrasi *plasticizer*. Artinya, konsentrasi terbaik tidak sama untuk semua *plasticizer*, sehingga setiap jenis *plasticizer* memerlukan penentuan konsentrasi optimal secara terpisah. Efek konsentrasi akan berbeda tergantung pada jenis *plasticizer* yang digunakan. Hasil analisis korelasi menunjukkan bahwa waktu pelarutan berkaitan dengan stabilitas busa, serta ketahanan lipatan juga berhubungan dengan stabilitas busa. Dengan kata lain, formulasi yang lebih lentur cenderung menghasilkan busa yang lebih stabil. Secara keseluruhan hasil MANOVA, menegaskan bahwa jenis *plasticizer*, konsentrasinya, dan interaksi keduanya merupakan faktor utama yang menentukan kualitas sabun.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa jenis dan konsentrasi *plasticizer* sangat mempengaruhi sifat sabun, meliputi pH, waktu larut, ketahanan lipatan, dan stabilitas busa. Hasil MANOVA menegaskan bahwa kedua faktor tersebut, serta interaksinya, memberikan pengaruh yang sangat signifikan sehingga perlu dipertimbangkan secara bersamaan dalam formulasi. Diantara seluruh formulasi, gliserin 20% memberikan kinerja terbaik dengan ketahanan lipatan tertinggi, stabilitas busa yang sangat baik, waktu pelarutan yang sesuai, serta pH yang memenuhi standar SNI. Sorbitol 15-20% dapat menjadi alternatif, meskipun ketahanan lipatannya lebih rendah. Sementara itu, PEG-400, propilen glikol, dan sukrosa menunjukkan keterbatasan pada ketahanan lipatan, stabilitas busa, atau konsistensi hasil. Dengan demikian, gliserin 20% ditetapkan sebagai formulasi optimal untuk sabun kertas. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengevaluasi stabilitas jangka panjang dan penerimaan konsumen.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, atas penyediaan fasilitas laboratorium dan dukungan teknis selama penelitian ini. Apresiasi juga disampaikan kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan yang berkontribusi pada keberhasilan penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aznury, M., Zikri, A., Ningsih, A. S., Margaretty, E., Agriani, L., Indriani, I., & Rachmadona, N. (2022, February 14). Production of Solid Soap with Addition of Green Betal Leave (*Piper Betle* L.) Extract and Left Lemon Extract(*Cymbopogon Nardus* L. Rendle) As Antioxidants. *Proceedings of the 5th FIRST T1 T2 2021 International Conference (FIRST-T1-T2 2021)*. <https://doi.org/https://doi.org/10.2991/AHE.K.220205.026>
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). *SNI 2048:2020*.
- Barel, A. O., Paye, M., & Maibach, H. I. (2022). *Handbook of Cosmetic Science and Technology* (4th ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003032694>

- D'souza, A. A., & Shegokar, R. (2016). Polyethylene glycol (PEG): a versatile polymer for pharmaceutical applications. In *Expert Opinion on Drug Delivery* (Vol. 13, Number 9, pp. 1257–1275). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/17425247.2016.1182485>
- Eryani, M. C., Nurmalasari, D. R., & Fadilah, S. R. (2023). Pengaruh Variasi Konsentrasi Gliserin Terhadap Sifat Fisik Paper Soap Ekstrak Daun Nangka (*Artocarpus heterophyllus* Lam.). *Journal of Islamic Pharmacy*, 7(2), 74–78. <https://doi.org/10.18860/jip.v7i2.17664>
- Hair, J. F., Joseph, F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2009). *Multivariate data analysis : a global perspective* (7th ed.). Pearson Education.
- Islamiati, F. N., Windayani, N., & Sunarya, R. R. (2023). The making of an herbal paper soap from virgin coconut oil with addition of whey kefir. *AIP Conference Proceedings*, 2572. <https://doi.org/10.1063/5.0119110>
- Jaderi, Z., Tabatabaee Yazdi, F., Mortazavi, S. A., & Koocheki, A. (2023). Effects of glycerol and sorbitol on a novel biodegradable edible film based on *Malva sylvestris* flower gum. *Food Science and Nutrition*, 11(2), 991–1000. <https://doi.org/10.1002/fsn.3.3134>
- Paudel, S., Regmi, S., & Janaswamy, S. (2023). Effect of glycerol and sorbitol on cellulose-based biodegradable films. *Food Packaging and Shelf Life*, 37. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101090>
- Rahmiati, Zubair, S., Rahmah, B. Y. A., Mustikasari, I., Afgoni, A., & Gunawan, E. R. (2022). Formulation and antibacterial test traveling paper soap made from virgin coconut oil and durian seeds. *Jurnal Pijar Mipa*, 17(4), 549–553. <https://doi.org/10.29303/jpm.v17i4.2914>
- Rowe, R. C., Sheskey, P. J., & Quinn, M. E. (2009). *Handbook of Pharmaceutical Excipients* (R. Garner, M. E. Quinn, J. Watts, & P. J. Weller, Eds.; Sixth). Pharmaceutical Press.
- Silviyati, I., Supraptiah, E., Fathiah, A., Syakdani, A., Ningsih, A. S., & Yuliani, S. (2024). Characteristics Of Mangostein (*Garcinia Mangostana* L) Peel Extract Paper Soap With The Addition Of Glycerin And Hydroxypropyl Methyl Cellulose. *Proceedings of the 7th FIRST 2023 International Conference on Global Innovations (FIRST-ESCSI 2023)*, 137–143. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-386-3_16
- Snejdrova, E., & Dittrich, M. (2012). *Pharmaceutically Used Plasticizers*. www.intechopen.com
- Spitz, L. (2016). *Soap Manufacturing Technology* (2nd ed.). Academic Press and AOCS Press.
- Tarique, J., Sapuan, S. M., & Khalina, A. (2021). Effect of glycerol plasticizer loading on the physical, mechanical, thermal, and barrier properties of arrowroot (*Maranta arundinacea*) starch biopolymers. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93094-y>
- Widyasanti, A., Lenyta Ginting, A. M., Asyifani, E., & Nurjanah, S. (2018). The production of paper soaps from coconut oil and Virgin Coconut Oil (VCO) with the addition of glycerine as plasticizer. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 141(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/141/1/012037>
- Zahran, H. A. (2024). From Fat to Foam: The Fascinating World of Soap Chemistry and Technology. In *Egyptian Journal of Chemistry* (Vol. 67, Number 6, pp. 9–17). National Information and Documentation Centre. <https://doi.org/10.21608/EJCHEM.2023.195358.7627>
- Zhang, W., Zhou, W., Zhang, Z., Zhang, D., Guo, Z., Ren, P., & Liu, F. (2023). Effect of Nano-Silica and Sorbitol on the Properties of Chitosan-Based Composite Films. *Polymers*, 15(19). <https://doi.org/10.3390/polym15194015>