



Pengaruh Pelapisan Nanokomposit SiO₂–TiO₂ dan PANI pada Kain Tekstil terhadap Nilai Sudut Kontak

Fadila Saputri^{1*}, Ratnawulan²

¹⁻² Universitas Negeri Padang, Indonesia

email: anikefadila930@gmail.com¹

Article Info :

Received:

29-10-2025

Revised:

29-11-2025

Accepted:

28-12-2025

Abstract

This study investigates the effect of SiO₂–TiO₂ nanocomposite coating with polyaniline (PANI) addition on the wettability properties of textile fabrics. The research was conducted through a laboratory-scale experimental approach by applying nanocomposite coatings onto textile substrates using the dip-coating method. Calcination temperatures of 600°C, 700°C, 800°C, and 900°C were employed to evaluate the influence of thermal treatment on surface characteristics. Wettability performance was assessed by measuring water contact angles before and after twenty washing cycles to determine coating durability. The results indicate that all coated fabrics exhibited hydrophilic behavior, characterized by contact angles below 90°, demonstrating enhanced surface affinity toward water. Variations in calcination temperature significantly affected the contact angle values, reflecting changes in surface structure and chemical properties of the nanocomposite layer. After repeated washing, a decrease in hydrophilic performance was observed, suggesting partial degradation or detachment of the coating layer. The presence of PANI, which contains polar functional groups, is considered to contribute to improved surface wettability. Overall, the SiO₂–TiO₂/PANI nanocomposite coating shows potential for functional textile applications requiring controlled hydrophilic properties, although further optimization is necessary to improve long-term stability.

Keywords: Nanocomposite coating; SiO₂–TiO₂; Polyaniline; Textile fabric; Contact angle.

Abstrak

Penelitian ini mengkaji pengaruh lapisan nanokomposit SiO₂–TiO₂ dengan penambahan polianilin (PANI) terhadap sifat kelembaban kain tekstil. Penelitian ini dilakukan melalui pendekatan eksperimental skala laboratorium dengan menerapkan lapisan nanokomposit pada substrat tekstil menggunakan metode celup. Suhu pembakaran 600°C, 700°C, 800°C, dan 900°C digunakan untuk mengevaluasi pengaruh perlakuan termal terhadap karakteristik permukaan. Kinerja kelembaban diukur dengan mengukur sudut kontak air sebelum dan setelah 20 siklus pencucian untuk menentukan ketahanan lapisan. Hasil menunjukkan bahwa semua kain yang dilapisi menunjukkan perilaku hidrofilik, ditandai dengan sudut kontak di bawah 90°, menunjukkan peningkatan afinitas permukaan terhadap air. Perbedaan suhu pembakaran secara signifikan mempengaruhi nilai sudut kontak, mencerminkan perubahan struktur permukaan dan sifat kimia lapisan nanokomposit. Setelah pencucian berulang, penurunan kinerja hidrofilik diamati, menunjukkan degradasi sebagian atau lepasnya lapisan pelapis. Kehadiran PANI, yang mengandung kelompok fungsional polar, dianggap berkontribusi pada peningkatan kelembaban permukaan. Secara keseluruhan, lapisan nanokomposit SiO₂–TiO₂/PANI menunjukkan potensi untuk aplikasi tekstil fungsional yang memerlukan sifat hidrofilik yang terkontrol, meskipun optimasi lebih lanjut diperlukan untuk meningkatkan stabilitas jangka panjang.

Kata kunci: Lapisan nanokomposit; SiO₂–TiO₂; Polianilin; Kain tekstil; Sudut kontak.



©2022 Authors.. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi pelapisan berbasis nanomaterial pada tekstil mengalami peningkatan signifikan seiring kebutuhan material fungsional yang memiliki karakter permukaan terkontrol, terutama dalam aplikasi hidrofobik dan self-cleaning yang ditentukan oleh nilai sudut kontak permukaan kain (Mita et al., 2024; Lee et al., 2025). Tekstil yang dimodifikasi melalui pendekatan nanoteknologi tidak lagi hanya berfungsi sebagai material pasif, melainkan berkembang menjadi material cerdas dengan sifat permukaan yang dapat direkayasa sesuai kebutuhan industri dan medis

(Pratama et al., 2022; Lailiyah et al., 2022). Nilai sudut kontak menjadi parameter penting karena secara langsung merepresentasikan interaksi antara cairan dan permukaan kain setelah perlakuan pelapisan (Putri & Munasir, 2023). Pemilihan jenis nanomaterial dan metode pelapisan menjadi faktor penentu keberhasilan peningkatan performa hidrofobik tekstil (Marhamah & Astuti, 2022).

Nanokomposit berbasis SiO_2 dan TiO_2 dikenal luas memiliki peran penting dalam rekayasa permukaan karena struktur partikelnya yang mampu meningkatkan kekasaran mikro-nano serta stabilitas kimia lapisan (Ghamarpoor et al., 2024; Maharani & Lailiyah, 2022). Kombinasi kedua oksida ini telah diaplikasikan pada berbagai substrat tekstil dan menunjukkan peningkatan signifikan pada sifat hidrofobik serta ketahanan lingkungan (Pratama et al., 2022; Lee et al., 2025). Studi terdahulu melaporkan bahwa keberadaan SiO_2 berkontribusi terhadap pembentukan struktur hierarkis, sementara TiO_2 berperan dalam memperkuat adhesi dan ketahanan lapisan (Maharani & Fadhila, 2022). Karakteristik tersebut menjadikan sistem SiO_2 – TiO_2 relevan untuk diteliti lebih lanjut pada kain tekstil dengan fokus kuantitatif pada nilai sudut kontak.

Selain oksida anorganik, polimer konduktif seperti polianilin (PANI) menunjukkan potensi besar sebagai material pelapis fungsional karena fleksibilitas struktural dan kestabilan kimianya (Ahsan et al., 2024; Kusumawati & Suaebah, 2025). PANI telah banyak diaplikasikan pada sistem komposit untuk meningkatkan sifat permukaan, termasuk ketahanan korosi dan modifikasi energi permukaan (Li et al., 2023). Integrasi PANI dengan material anorganik terbukti mampu membentuk lapisan komposit yang lebih homogen serta meningkatkan ikatan antarmuka pada substrat (Kusumawati & Suaebah, 2025). Karakter ini membuka peluang pemanfaatan PANI sebagai komponen pelapis pada tekstil untuk memodifikasi sifat basah-kering yang tercermin pada perubahan sudut kontak.

Pendekatan nanokomposit berbasis kombinasi oksida dan polimer menawarkan sinergi sifat fisik dan kimia yang lebih unggul dibandingkan material tunggal (Mita et al., 2024). Penggabungan SiO_2 – TiO_2 dengan PANI diharapkan mampu menghasilkan lapisan dengan distribusi partikel lebih merata serta peningkatan stabilitas permukaan terhadap pengaruh lingkungan (Ghamarpoor et al., 2024; Ahsan et al., 2024). Penelitian pada bidang membran dan pemisahan zat menunjukkan bahwa struktur nano berperan penting dalam pengaturan interaksi fluida dengan permukaan material, yang relevan dengan fenomena pembasahan pada kain (Kedang, n.d.). Hal ini memperkuat urgensi pengkajian pengaruh komposisi nanokomposit terhadap nilai sudut kontak secara terukur.

Berbagai penelitian terdahulu pada kain katun dan poliester menunjukkan bahwa pelapisan berbasis oksida logam dan polimer alami mampu meningkatkan sifat hidrofobik, namun masih terbatas pada sistem material tertentu (Lailiyah et al., 2022; Maharani & Fadhila, 2022). Penambahan SiO_2 dan TiO_2 pada matriks komposit terbukti memengaruhi sudut kontak secara signifikan, meskipun mekanisme pengaruhnya sangat dipengaruhi oleh komposisi dan morfologi lapisan (Maharani & Lailiyah, 2022). Studi mengenai lapisan superhidrofobik berbasis silika juga menegaskan pentingnya struktur permukaan dalam mencapai nilai sudut kontak tinggi yang stabil (Putri & Munasir, 2023). Keterbatasan penelitian yang mengombinasikan oksida anorganik dengan PANI pada kain tekstil masih menjadi celah kajian yang relevan untuk diteliti lebih lanjut.

Dari perspektif aplikasi, pengembangan tekstil dengan nilai sudut kontak tinggi memiliki implikasi luas pada produk medis, alat pelindung diri, serta tekstil fungsional yang menuntut ketahanan terhadap cairan dan kontaminan (Pratama et al., 2022; Cheng et al., 2023). Teknologi pelapisan juga dituntut memiliki kestabilan mekanik dan kimia yang memadai agar performa hidrofobik tidak menurun selama penggunaan (Putra & Aritonang, 2025). Studi pada sistem coating non-tekstil menunjukkan bahwa komposisi dan metode aplikasi lapisan sangat memengaruhi ketahanan jangka panjang sifat permukaan (Li et al., 2023; Shi et al., 2024). Temuan tersebut memperkuat pentingnya evaluasi sudut kontak sebagai indikator awal keberhasilan pelapisan nanokomposit pada kain.

Tinjauan sistematis mengenai tantangan industri tekstil menegaskan bahwa inovasi pelapisan berbasis fotokatalitik dan nanokomposit menjadi solusi potensial untuk meningkatkan nilai tambah produk tekstil modern (Lee et al., 2025). Penggunaan TiO_2 dalam sistem pelapisan juga memberikan potensi tambahan berupa aktivitas fotokatalitik yang dapat dikombinasikan dengan sifat hidrofobik permukaan (Ghamarpoor et al., 2024). Integrasi PANI dalam sistem tersebut berpotensi memperkaya fungsi material tanpa mengorbankan fleksibilitas kain (Ahsan et al., 2024). Pendekatan ini sejalan dengan arah pengembangan material multifungsi berbasis nanoteknologi yang semakin luas diterapkan pada bidang pelapisan (Mita et al., 2024).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian mengenai pengaruh pelapisan nanokomposit $\text{SiO}_2\text{--TiO}_2$ dan PANI pada kain tekstil terhadap nilai sudut kontak menjadi relevan untuk dilakukan secara sistematis. Kajian ini diharapkan mampu memberikan pemahaman mendalam mengenai hubungan antara komposisi nanokomposit dan perubahan karakter pembasahan permukaan kain. Hasil penelitian juga diharapkan dapat melengkapi kekurangan studi sebelumnya yang masih terfokus pada sistem material tunggal atau kombinasi terbatas. Kontribusi penelitian ini diharapkan tidak hanya bersifat akademis, tetapi juga memberikan dasar pengembangan tekstil fungsional berbasis nanokomposit yang aplikatif dan berdaya saing.

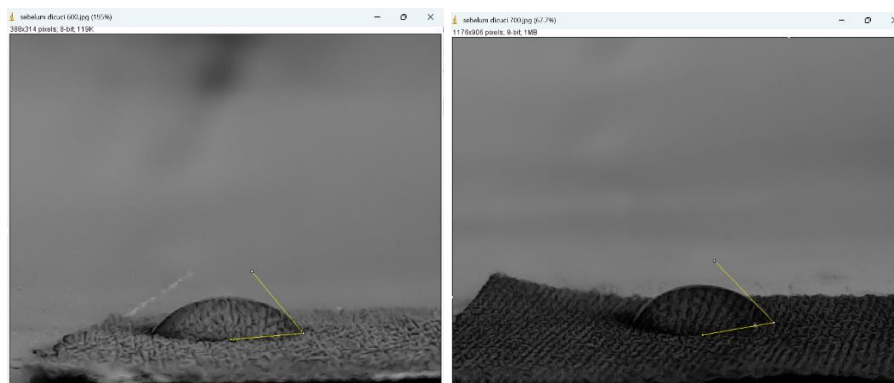
METODE PENELITIAN

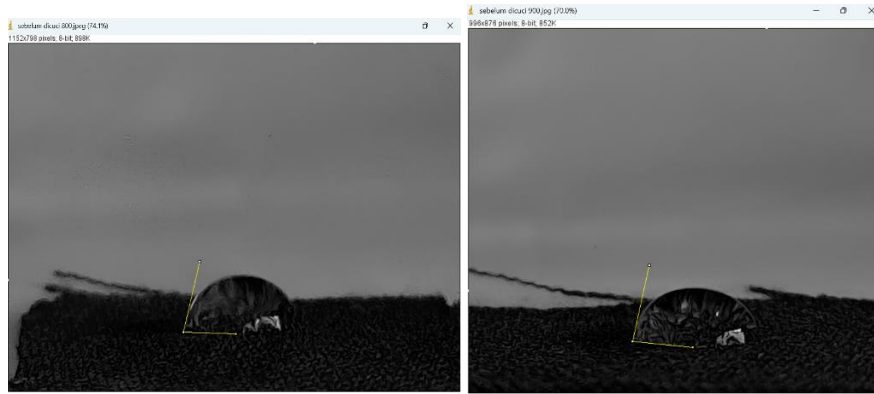
Metode penelitian yang digunakan merupakan pendekatan eksperimental laboratorium dengan tahapan meliputi persiapan substrat kain tekstil, sintesis material pelapis, proses pelapisan, serta karakterisasi sifat permukaan. Kain tekstil terlebih dahulu dibersihkan untuk menghilangkan pengotor, kemudian dilapisi menggunakan nanokomposit $\text{SiO}_2\text{--TiO}_2$ dan PANI dengan variasi komposisi tertentu melalui metode pelapisan basah yang dikontrol secara homogen untuk memastikan keterikatan lapisan pada permukaan serat. Material $\text{SiO}_2\text{--TiO}_2$ dan PANI disintesis secara terpisah sesuai prosedur standar, kemudian dikombinasikan menjadi sistem nanokomposit sebelum diaplikasikan pada kain. Karakterisasi utama dilakukan melalui pengukuran nilai sudut kontak menggunakan alat contact angle goniometer untuk mengevaluasi perubahan sifat pembasahan permukaan kain setelah pelapisan, disertai analisis pendukung terhadap kestabilan lapisan guna memastikan keandalan hasil pengukuran.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Visual dan Kuantitatif Sudut Kontak Kain Tekstil Berlapis Nanokomposit $\text{SiO}_2\text{--TiO}_2$ /PANI Sebelum Pencucian

Pelapisan nanokomposit $\text{SiO}_2\text{--TiO}_2$ dengan penambahan polianilin pada kain tekstil ditujukan untuk memodifikasi sifat permukaan melalui pengaturan energi permukaan dan struktur mikro lapisan, yang secara langsung dapat diamati melalui pengukuran sudut kontak air. Pada kondisi sebelum pencucian, pengujian sudut kontak menjadi indikator awal untuk mengevaluasi keberhasilan proses kalsinasi dalam membentuk lapisan yang stabil dan responsif terhadap interaksi air. Variasi suhu kalsinasi dipilih karena berpengaruh terhadap kristalinitas, homogenitas dispersi partikel, serta keterikatan lapisan terhadap substrat kain, sebagaimana dilaporkan pada penelitian pelapisan berbasis oksida logam dan polimer konduktif (Ghamarpoor et al., 2024; Kusumawati & Suaebah, 2025). Oleh sebab itu, analisis visual dan kuantitatif sebelum pencucian menjadi tahap penting untuk memahami karakter awal permukaan kain hasil pelapisan:





Gambar 1. Gambar 1. Citra sudut kontak air pada permukaan kain tekstil berlapis nanokomposit SiO_2 TiO_2 /PANI sebelum pencucian pada variasi suhu kalsinasi: (a) 600 °C, (b) 700 °C, (c) 800 °C, dan (d) 900 °C.

Hasil pengamatan visual terhadap tetesan air pada permukaan kain sebelum pencucian ditunjukkan pada Gambar 1, yang memperlihatkan perbedaan bentuk dan penyebaran tetesan air pada setiap variasi suhu kalsinasi. Pada suhu kalsinasi rendah, tetesan air tampak lebih menyebar dan memiliki sudut kontak yang relatif kecil, sedangkan pada suhu kalsinasi yang lebih tinggi, tetesan cenderung mempertahankan bentuk lebih membulat. Kondisi visual ini mencerminkan perubahan energi permukaan akibat proses kalsinasi yang memengaruhi susunan mikro dan nano lapisan SiO_2 – TiO_2 /PANI, sebagaimana juga ditemukan pada pelapisan kain berbasis TiO_2 – SiO_2 dan material sejenis (Pratama et al., 2022; Zhao et al., 2026). Dengan demikian, Gambar 1 memberikan gambaran awal yang konsisten dengan teori modifikasi permukaan melalui perlakuan termal.

Secara lebih rinci, Gambar 1(a–d) menunjukkan bahwa peningkatan suhu kalsinasi dari 600 °C hingga 900 °C menghasilkan perubahan sudut kontak yang semakin jelas, di mana tetesan air pada suhu tertinggi terlihat paling stabil dan tidak mudah menyebar. Fenomena ini berkaitan dengan peningkatan densitas lapisan serta berkurangnya gugus hidrofilik bebas pada permukaan akibat proses kalsinasi intensif. Polianilin yang terdispersi bersama oksida logam berperan dalam membentuk jaringan lapisan yang lebih rapat, sehingga interaksi antara air dan permukaan kain menjadi lebih terbatas (Ahsan et al., 2024; Wang et al., 2023). Pengamatan visual tersebut selaras dengan pendekatan rekayasa permukaan tekstil yang menekankan kontrol struktur mikro untuk mengatur sifat kebasahan (Lee et al., 2025).

Pengamatan visual pada Gambar 1 selanjutnya diperkuat oleh data kuantitatif nilai sudut kontak air yang disajikan pada Tabel 1, yang menunjukkan kecenderungan peningkatan sudut kontak seiring kenaikan suhu kalsinasi. Pada suhu 600 °C dan 700 °C, nilai sudut kontak tercatat relatif rendah dan hampir serupa, sedangkan peningkatan signifikan mulai terlihat pada suhu 800 °C dan mencapai nilai tertinggi pada suhu 900 °C. Pola ini menunjukkan bahwa suhu kalsinasi tinggi memberikan kontribusi nyata terhadap pembentukan permukaan yang kurang mudah dibasahi. Temuan tersebut sejalan dengan laporan mengenai pengaruh perlakuan panas terhadap struktur dan performa lapisan oksida pada substrat tekstil dan material komposit (Maharani & Lailiyah, 2022; Widodo, 2022):

Tabel 1. Nilai Sudut Kontak Air Kain Tekstil Sebelum Pencucian

Suhu Kalsinasi (°C)	Nilai Sudut Kontak (°)
600	55.366
700	55.690
800	77.175
900	83.158

Nilai sudut kontak sebesar 55,366° dan 55,690° pada suhu kalsinasi 600 °C dan 700 °C mengindikasikan bahwa lapisan yang terbentuk masih didominasi oleh karakter hidrofilik kain dasar. Peningkatan nilai hingga 77,175° pada 800 °C dan 83,158° pada 900 °C menunjukkan adanya perubahan signifikan pada sifat permukaan akibat peningkatan suhu kalsinasi. Perubahan ini tidak hanya dipengaruhi oleh oksida logam, tetapi juga oleh interaksi polianilin dengan matriks SiO_2 – TiO_2

yang membentuk lapisan lebih terorganisir. Mekanisme serupa dilaporkan pada berbagai sistem pelapisan berbasis nanokomposit untuk aplikasi fungsional tekstil (Lailiyah et al., 2022; Tudu et al., 2020).

Meskipun terjadi peningkatan sudut kontak pada suhu kalsinasi tinggi, seluruh nilai sudut kontak sebelum pencucian masih berada di bawah 90° , yang menandakan bahwa permukaan kain tetap bersifat hidrofilik. Kondisi ini menunjukkan bahwa tujuan pelapisan lebih berfokus pada modifikasi tingkat kebasahan, bukan pembentukan sifat superhidrofobik. Pendekatan tersebut relevan untuk aplikasi tekstil fungsional yang membutuhkan keseimbangan antara daya serap dan ketahanan terhadap air. Beberapa studi juga menekankan bahwa permukaan dengan sudut kontak menengah sering lebih stabil dan aplikatif dibandingkan permukaan superhidrofobik ekstrem (Putri & Munasir, 2023; Marhamah & Astuti, 2022).

Kecenderungan peningkatan sudut kontak sebelum pencucian juga dapat dikaitkan dengan perubahan morfologi lapisan yang dipengaruhi oleh suhu kalsinasi. Suhu tinggi mendorong terjadinya pemadatan lapisan dan pengurangan pori terbuka, sehingga air lebih sulit meresap ke dalam struktur kain. Fenomena ini telah banyak dibahas pada literatur pelapisan berbasis oksida logam dan polimer untuk aplikasi fungsional, termasuk coating tekstil dan material teknik. Dengan demikian, data pada Tabel 1 tidak hanya bersifat deskriptif, tetapi mencerminkan mekanisme fisik yang terjadi pada permukaan kain (Mita et al., 2024; Li et al., 2023).

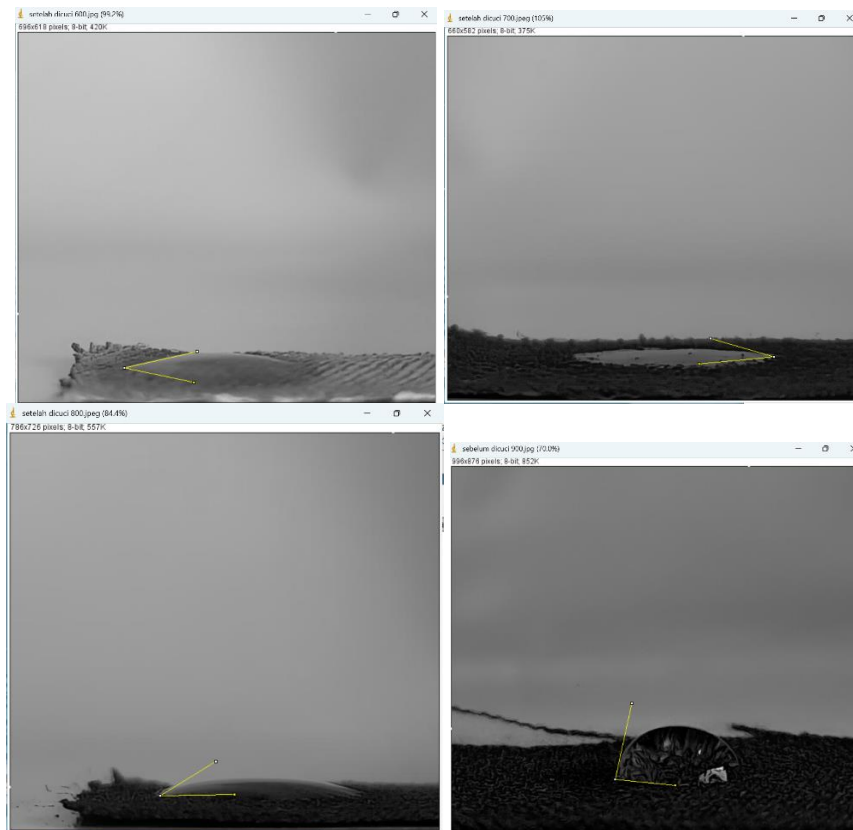
Keberadaan polianilin dalam sistem pelapisan juga memberikan kontribusi terhadap kestabilan sudut kontak sebelum pencucian. Polianilin dikenal memiliki sifat konduktif dan kemampuan membentuk lapisan kontinu yang mendukung adhesi partikel anorganik pada substrat. Interaksi antara PANI dan $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$ membantu menjaga distribusi partikel tetap homogen, sehingga permukaan kain menunjukkan respon kebasahan yang lebih konsisten pada suhu kalsinasi tinggi. Temuan ini konsisten dengan laporan karakterisasi komposit PANI berbasis oksida dan karbon yang menunjukkan peningkatan performa permukaan (Ahsan et al., 2024; Zola et al., 2024).

Jika dikaitkan dengan aplikasi praktis, kondisi sudut kontak sebelum pencucian mencerminkan performa awal kain setelah proses fabrikasi. Nilai sudut kontak yang meningkat pada suhu kalsinasi tinggi menunjukkan potensi kain untuk digunakan pada aplikasi yang membutuhkan kontrol interaksi air, seperti tekstil pelindung atau material fungsional ringan. Namun, performa awal ini belum dapat menggambarkan ketahanan lapisan terhadap penggunaan jangka panjang. Oleh karena itu, analisis sebelum pencucian harus dipandang sebagai dasar untuk evaluasi lanjutan setelah perlakuan mekanik, sebagaimana disarankan dalam kajian teknologi pelapisan tekstil modern (Lee et al., 2025; Wahyusi et al., 2022).

Analisis visual melalui Gambar 1 dan data kuantitatif pada Tabel 1 menunjukkan bahwa suhu kalsinasi berperan penting dalam menentukan karakter awal sudut kontak kain tekstil berlapis nanokomposit $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2\text{/PANI}$ sebelum pencucian. Peningkatan suhu kalsinasi menghasilkan permukaan dengan sudut kontak lebih tinggi, meskipun masih berada dalam kategori hidrofilik. Hasil ini memperlihatkan bahwa pelapisan yang dilakukan berhasil memodifikasi sifat permukaan tanpa menghilangkan karakter dasar kain. Temuan tersebut menjadi landasan penting untuk membahas perubahan sifat permukaan setelah kain mengalami pencucian berulang pada sub bahasan berikutnya.

Perubahan Nilai Sudut Kontak Kain Tekstil Berlapis Nanokomposit $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2\text{/PANI}$ Setelah Pencucian Berulang

Pencucian berulang merupakan simulasi kondisi penggunaan nyata kain tekstil yang berpotensi memengaruhi stabilitas lapisan nanokomposit pada permukaan serat. Interaksi mekanik antara air, deterjen, dan gesekan selama pencucian dapat menyebabkan perubahan struktur mikro lapisan serta redistribusi gugus fungsional di permukaan. Oleh karena itu, evaluasi sudut kontak setelah dua puluh siklus pencucian menjadi indikator penting untuk menilai ketahanan lapisan hasil pelapisan. Pendekatan serupa banyak digunakan dalam kajian tekstil fungsional untuk mengukur keberlanjutan performa permukaan setelah perlakuan mekanik berulang (Tudu et al., 2020; Lee et al., 2025):



Gambar 2. Citra sudut kontak air pada permukaan kain tekstil berlapis nanokomposit $\text{SiO}_2\text{--TiO}_2\text{/PANI}$ sesudah pencucian 20 siklus pada variasi suhu kalsinasi: (a) 600 °C, (b) 700 °C, (c) 800 °C, dan (d) 900 °C.

Pengamatan visual terhadap tetesan air pada kain setelah pencucian ditampilkan pada Gambar 2, yang memperlihatkan perubahan bentuk tetesan dibandingkan kondisi sebelum pencucian. Secara umum, tetesan air tampak lebih menyebar di seluruh variasi suhu kalsinasi, menandakan peningkatan sifat hidrofilik permukaan kain. Fenomena ini menunjukkan bahwa pencucian tidak hanya memengaruhi kekuatan adhesi lapisan, tetapi juga memicu perubahan kimia permukaan. Kondisi visual tersebut konsisten dengan laporan penelitian yang menyebutkan bahwa proses pencucian dapat mengekspos gugus polar yang sebelumnya tertutup oleh lapisan padat (Wahyusi et al., 2022; Maharani & Fadhila, 2022).

Pada Gambar 2(a–d) terlihat bahwa meskipun seluruh sampel mengalami peningkatan penyebaran air, perbedaan karakter antar suhu kalsinasi masih dapat diamati. Sampel dengan suhu kalsinasi lebih tinggi tetap menunjukkan tetesan yang sedikit lebih terdefinisi dibandingkan suhu rendah, meskipun sudut kontakannya menurun. Hal ini mengindikasikan bahwa lapisan yang terbentuk pada suhu tinggi memiliki ketahanan struktural yang lebih baik terhadap pencucian. Temuan ini sejalan dengan konsep bahwa perlakuan panas berperan dalam meningkatkan integritas lapisan nanokomposit pada substrat tekstil (Ghamarpoor et al., 2024; Wang et al., 2023).

Perubahan visual yang ditunjukkan pada Gambar 2 selanjutnya didukung oleh data kuantitatif sudut kontak air setelah pencucian yang disajikan pada Tabel 2. Seluruh sampel menunjukkan penurunan nilai sudut kontak yang cukup signifikan dibandingkan kondisi sebelum pencucian. Nilai sudut kontak setelah pencucian berada pada rentang 21° – 33° , yang menunjukkan dominasi sifat hidrofilik pada permukaan kain. Data ini menegaskan bahwa pencucian berulang berpengaruh nyata terhadap sifat kebasahan permukaan kain berlapis nanokomposit:

Tabel 2. Nilai Sudut Kontak Air Kain Tekstil Setelah Pencucian 20 Siklus

Suhu Kalsinasi (°C)	Nilai Sudut Kontak (°)
600	24.268
700	21.582
800	30.859
900	33.085

Penurunan sudut kontak paling rendah tercatat pada suhu kalsinasi 700 °C dengan nilai 21,582°, sedangkan nilai tertinggi setelah pencucian tetap dimiliki oleh sampel kalsinasi 900 °C sebesar 33,085°. Pola ini menunjukkan bahwa suhu kalsinasi tinggi masih memberikan kontribusi terhadap kestabilan relatif lapisan, meskipun tidak mampu sepenuhnya mempertahankan karakter awal permukaan. Interaksi antara SiO₂–TiO₂ dan polianilin diperkirakan tetap berperan dalam menjaga sebagian struktur lapisan setelah pencucian. Fenomena ini juga dilaporkan pada sistem pelapisan komposit berbasis oksida dan polimer lainnya (Kusumawati & Suaebah, 2025; Putra & Aritonang, 2025).

Untuk melihat besarnya perubahan akibat pencucian secara lebih jelas, perbandingan nilai sudut kontak sebelum dan setelah pencucian disajikan pada Tabel 3. Data tersebut menunjukkan selisih sudut kontak yang meningkat seiring kenaikan suhu kalsinasi, dengan selisih terbesar terjadi pada suhu 900 °C. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun lapisan pada suhu tinggi lebih stabil, perubahan absolut yang terjadi tetap signifikan akibat proses pencucian. Dengan kata lain, pencucian berulang merupakan faktor dominan dalam mengubah sifat kebasahan permukaan kain:

Tabel 3. Perbandingan Nilai Sudut Kontak Air Sebelum dan Setelah Pencucian

Suhu Kalsinasi (°C)	Sebelum Pencucian (°)	Setelah Pencucian (°)	Selisih (°)
600	55.366	24.268	31.098
700	55.690	21.582	34.108
800	77.175	30.859	46.316
900	83.158	33.085	50.073

Selisih sudut kontak sebesar 31,098° hingga 50,073° mengindikasikan bahwa pencucian memicu restrukturisasi permukaan yang cukup besar. Proses ini dapat disebabkan oleh terlepasnya sebagian lapisan luar atau terbukanya kembali gugus hidroksil dan gugus polar dari polianilin maupun SiO₂. Kondisi tersebut meningkatkan afinitas permukaan kain terhadap air, sehingga sudut kontak menurun secara signifikan. Mekanisme serupa dijelaskan dalam kajian pelapisan tekstil berbasis nanokomposit untuk aplikasi fungsional yang melibatkan kontak air berulang (Lailiyah et al., 2022; Cheng et al., 2023).

Meskipun terjadi penurunan sudut kontak, fakta bahwa perbedaan antar suhu kalsinasi masih terjaga menunjukkan bahwa struktur dasar lapisan tidak sepenuhnya hilang. Lapisan hasil kalsinasi suhu tinggi tetap menunjukkan performa relatif lebih baik dibandingkan suhu rendah setelah pencucian. Hal ini menegaskan bahwa parameter suhu kalsinasi berperan penting dalam menentukan daya tahan lapisan terhadap perlakuan mekanik. Temuan ini memperkuat konsep desain pelapisan tekstil yang menekankan optimasi proses termal untuk meningkatkan ketahanan penggunaan (Mita et al., 2024; Widodo, 2022).

Dari sudut pandang aplikasi, peningkatan sifat hidrofilik setelah pencucian dapat memberikan keuntungan pada penggunaan tertentu, seperti tekstil yang membutuhkan kemampuan penyerapan air tinggi. Namun, untuk aplikasi yang memerlukan kontrol kebasahan, hasil ini menunjukkan perlunya strategi tambahan, seperti modifikasi komposisi atau metode pelapisan lanjutan. Oleh karena itu, hasil pada Sub Bahasan ini memberikan gambaran realistis mengenai performa kain dalam kondisi penggunaan berulang. Pendekatan evaluasi semacam ini juga direkomendasikan dalam kajian teknologi pelapisan tekstil modern (Lee et al., 2025; Shi et al., 2024).

Analisis visual melalui Gambar 2 dan data kuantitatif pada Tabel 2 dan Tabel 3 menunjukkan bahwa pencucian berulang memberikan pengaruh signifikan terhadap penurunan nilai sudut kontak kain

tekstil berlapis nanokomposit $\text{SiO}_2\text{--TiO}_2/\text{PANI}$. Seluruh sampel menunjukkan peningkatan sifat hidrofilik setelah pencucian, meskipun perbedaan antar suhu kalsinasi tetap teridentifikasi. Hasil ini menegaskan bahwa pencucian merupakan faktor kritis dalam menentukan performa jangka menengah lapisan pelapis. Temuan tersebut menjadi dasar penting untuk membahas keterkaitan antara perubahan struktural lapisan dan implikasi aplikatifnya pada sub bahasan berikutnya.

Implikasi Aplikasi Tekstil Fungsional dan Keterbatasan Penelitian

Pelapisan nanokomposit $\text{SiO}_2\text{--TiO}_2$ dengan penambahan polianilin pada kain tekstil menunjukkan potensi yang relevan untuk pengembangan tekstil fungsional berbasis sifat hidrofilik. Nilai sudut kontak yang berada di bawah 90° pada seluruh variasi perlakuan menunjukkan bahwa permukaan kain mampu mendukung interaksi air secara efektif. Karakter ini penting dalam aplikasi self-cleaning hidrofilik yang mengandalkan penyebaran air sebagai media pembersihan permukaan. Temuan ini sejalan dengan arah pengembangan material tekstil modern yang mengutamakan fungsi tambahan tanpa mengorbankan fleksibilitas material (Lee et al., 2025; Mita et al., 2024).

Implikasi lain dari sifat hidrofilik yang terbentuk adalah peningkatan potensi aktivitas fotokatalitik ketika kain terpapar cahaya. Kombinasi TiO_2 dan SiO_2 dikenal mampu menghasilkan spesies reaktif yang efektif dalam degradasi senyawa organik. Keberadaan polianilin berperan dalam memperbaiki transfer muatan, sehingga proses fotokatalitik dapat berlangsung lebih efisien. Sinergi ini menjadikan material berpotensi digunakan pada aplikasi tekstil luar ruang yang memerlukan kemampuan pembersihan mandiri berbasis cahaya matahari (Ghamarpoor et al., 2024; Putri & Munasir, 2023).

Dalam industri tekstil, hasil penelitian ini memberikan gambaran awal mengenai pengaruh perlakuan panas terhadap karakter permukaan kain berlapis nanokomposit. Variasi suhu kalsinasi terbukti mampu mengontrol tingkat kebasahan permukaan, sehingga parameter ini dapat disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi spesifik. Tekstil dengan sifat hidrofilik terkontrol memiliki peluang diterapkan pada produk medis, filtrasi, dan pakaian olahraga. Arah ini sejalan dengan pengembangan material tekstil berperforma tinggi yang mengandalkan rekayasa permukaan (Wahyusi et al., 2022; Kedang, n.d.).

Meskipun menunjukkan performa awal yang menjanjikan, penelitian ini juga memiliki keterbatasan yang perlu diperhatikan. Evaluasi sifat permukaan hanya didasarkan pada pengukuran sudut kontak air tanpa karakterisasi morfologi atau kimia permukaan secara mendalam. Informasi mengenai distribusi partikel, kekasaran permukaan, serta ikatan kimia antar komponen belum terungkap secara langsung. Keterbatasan ini umum dijumpai pada studi awal pengembangan pelapis berbasis nanokomposit (Widodo, 2022; Wang et al., 2023).

Keterbatasan lain terletak pada ketahanan lapisan terhadap pencucian berulang. Penurunan nilai sudut kontak setelah pencucian menunjukkan bahwa stabilitas lapisan masih perlu ditingkatkan. Kondisi ini menjadi tantangan utama dalam aplikasi tekstil, mengingat produk tekstil harus mampu mempertahankan fungsi setelah penggunaan jangka panjang. Fenomena serupa juga dilaporkan pada berbagai sistem coating berbasis oksida logam dan polimer konduktif (Cheng et al., 2023; Li et al., 2023).

Dari sisi material polimer, polianilin memiliki keterbatasan stabilitas mekanik dan kimia yang memengaruhi performa jangka panjang. Meskipun berkontribusi positif terhadap sifat hidrofilik dan fotokatalitik, polianilin relatif mudah terdegradasi akibat gesekan dan deterjen. Hal ini menuntut adanya pendekatan lanjutan dalam pemilihan atau modifikasi polimer pengikat. Penggunaan sistem fiksasi tambahan atau polimer alternatif menjadi peluang pengembangan berikutnya (Ahsan et al., 2024; Kusumawati & Suaebah, 2025).

Pengembangan lanjutan juga dapat diarahkan pada optimalisasi metode pelapisan. Metode dip-coating yang digunakan dalam penelitian ini relatif sederhana dan mudah diterapkan, namun memiliki keterbatasan dalam kontrol ketebalan dan adhesi lapisan. Integrasi metode sol-gel atau teknik modifikasi permukaan lainnya berpotensi meningkatkan kestabilan lapisan. Pendekatan ini telah banyak diterapkan dalam pengembangan coating fungsional berbasis nanoteknologi (Pratama et al., 2022; Marhamah & Astuti, 2022).

Penelitian lanjutan dapat memperluas parameter pengujian untuk memperoleh gambaran performa material yang lebih komprehensif. Pengujian morfologi menggunakan SEM atau AFM dapat memberikan informasi mengenai perubahan struktur permukaan akibat kalsinasi dan pencucian.

Karakterisasi kimia melalui FTIR atau XRD juga dapat memperkuat interpretasi mekanisme yang terjadi. Pendekatan multidisipliner semacam ini umum digunakan dalam pengembangan material pelapis tekstil modern (Zhao et al., 2026; Wang et al., 2023).

Dari perspektif keberlanjutan, penggunaan nanokomposit berbasis oksida anorganik memiliki keunggulan dibandingkan pelapis berbasis bahan kimia konvensional. Material seperti TiO_2 dan SiO_2 relatif stabil dan ramah lingkungan. Pengembangan sistem pelapisan yang lebih tahan lama akan meningkatkan nilai guna material sekaligus mengurangi frekuensi penggantian produk tekstil. Arah ini sejalan dengan tuntutan industri tekstil yang semakin berorientasi pada keberlanjutan (Lee et al., 2025; Mita et al., 2024).

Hasil penelitian tidak hanya relevan dari sisi akademik, tetapi juga memiliki implikasi praktis yang luas. Keterbatasan yang teridentifikasi membuka ruang bagi pengembangan riset lanjutan yang lebih mendalam dan aplikatif. Pendekatan bertahap dalam pengembangan material tekstil fungsional menjadi kunci untuk menjembatani penelitian laboratorium dan aplikasi industri. Dengan penguatan pada aspek stabilitas dan metode fiksasi, nanokomposit $\text{SiO}_2\text{--TiO}_2$ dengan penambahan polianilin berpotensi dikembangkan lebih lanjut sebagai pelapis tekstil bernilai tambah tinggi.

KESIMPULAN

Pelapisan nanokomposit $\text{SiO}_2\text{--TiO}_2$ dengan penambahan polianilin pada kain tekstil terbukti memengaruhi nilai sudut kontak air dan karakter sifat kebasahan permukaan. Variasi suhu kalsinasi memberikan peran penting dalam pembentukan struktur dan sifat kimia lapisan, yang tercermin dari perubahan nilai sudut kontak pada setiap perlakuan. Seluruh sampel menunjukkan karakter hidrofilik dengan nilai sudut kontak di bawah 90° , baik sebelum maupun setelah pencucian, meskipun terjadi penurunan performa setelah siklus pencucian berulang. Penurunan tersebut mengindikasikan adanya keterbatasan kestabilan lapisan terhadap perlakuan mekanik dan kimia selama pencucian. Keberadaan polianilin dan gugus polar pada permukaan nanokomposit berkontribusi terhadap peningkatan interaksi air dengan permukaan kain. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pelapisan nanokomposit $\text{SiO}_2\text{--TiO}_2/\text{PANI}$ berpotensi dikembangkan sebagai sistem pelapis tekstil fungsional dengan sifat hidrofilik terkontrol, meskipun optimalisasi kestabilan lapisan masih diperlukan untuk aplikasi jangka panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahsan, Q. A. Y., Kusumawati, D. H., & Fitriana, F. (2024). Karakteristik Komposit Pani/Go Sebagai Elektroda Superkapasitor. *Inovasi Fisika Indonesia*, 13(3), 74-81. <https://doi.org/10.26740/Ifi.V13n3.P74-81>
- Cheng, Y., Yang, Q., Wang, J., Hu, Z., Li, C., Zhong, S., & Huang, N. (2023). Optimization Preparation And Evaluation Of Chitosan Grafted Norfloxacin As A Hemostatic Sponge. *Polymers*, 15(3). <https://doi.org/10.3390/Polym15030672>
- Ghamarpoor, R., Fallah, A., & Jamshidi, M. (2024). A Review Of Synthesis Methods, Modifications, And Mechanisms Of Zno/Tio2-Based Photocatalysts For Photodegradation Of Contaminants. In *Acs Omega* (Vol. 9, Issue 24, Pp. 25457–25492). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/Acsomega.3c08717>
- Kedang, Y. I. Nanofiltration Membrane For Substance Separation Application. *Jurnal Saintek Lahan Kering*, 2(1), 27-29. <https://doi.org/10.32938/Slk.V2i1.444>
- Kusumawati, D. H., & Suaebah, E. (2025). Pengaruh Komposisi Pani/Sio2 Sebagai Bahan Pelapis Anti Korosi Pada Baja Tipe Ss 304. *Inovasi Fisika Indonesia*, 14(3), 316-325. <https://doi.org/10.26740/Ifi.V14n3.P316-325>
- Lailiyah, N., Fadhila, K. N., Ramadani, N. I., & Maharani, D. K. (2022). Preparasi Dan Karakterisasi Komposit Kitosan-Tio2/Zno Sebagai Agen Hidrofobik Dan Antibakteri Pada Kain Katun. *Sains Dan Matematika*, 7(1), 51-57. <https://doi.org/10.26740/Sainsmat.V7n1.P51-57>
- Lee, J. C., Huh, M. W., Hou, Y. L., & Kim, W. J. (2025). Complex Challenges In The Textile Industry And Potential Solutions In Photocatalytic Coating Technology: A Systematic Literature Review. In *Materials* (Vol. 18, Issue 4). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (Mdpi). <https://doi.org/10.3390/Ma18040810>
- Li, Z., Wang, N., Li, S., Wen, L., Xu, C., & Sun, D. (2023). Preparation Of Cold Sprayed Titanium Ta2 Coating By Irregular Powder And Evaluation Of Its Corrosion Resistance. *Coatings*, 13(11). <https://doi.org/10.3390/Coatings13111894>

- Maharani, D. K., & Fadhila, K. N. (2022). Preparasi Dan Karakterisasi Komposit Kitosan-Zno Sebagai Agen Hidrofobik Pada Kain Katun. *Unesa Journal Of Chemistry*, 11(1), 69-76. <https://doi.org/10.26740/Ujc.V11n1.P69-76>
- Maharani, D. K., & Lailiyah, N. (2022). Pengaruh Penambahan Sio₂ Dan Tio₂ Terhadap Sifat Hidrofobik Komposit Kitosan-Zno Pada Kain. *Unesa Journal Of Chemistry*, 11(1), 77-87. <https://doi.org/10.26740/Ujc.V11n1.P77-87>
- Marhamah, L., & Astuti, A. (2022). Sintesis Lapisan Hidrofobik Komposit Zno/Ps-Sio₂ Untuk Aplikasi Self-Cleaning Material. *Jurnal Fisika Unand*, 11(4), 508-514. <https://doi.org/10.25077/Jfu.11.4.508-514.2022>
- Mita, F., Jumarni, A., Wati, R., Patimah, A., & Rahman, D. Y. (2024). Perkembangan Penerapan Nanoteknologi Di Bidang Pelapisan (Coating). *Jurnal Penelitian Fisika Dan Terapannya (Jupiter)*, 5(2), 1-29. <https://doi.org/10.31851/Jupiter.V5i2.14518>
- Pratama, R. A., Nurhayati, Y., Fitri, D. F., Mahendra, A. N., Azuri, K. A. M., & Eddy, D. R. (2022). Pelapisan Komposit Tio₂-Sio₂ Pada Kain Poliester Dengan Metode Dip Coating Pada Pembuatan Masker Hidrofobik Antivirus. *Alchemy Jurnal Penelitian Kimia*, 18(1), 95. <https://doi.org/10.20961/Alchemy.18.1.55003.95-102>
- Putra, I. G. G. T., & Aritonang, S. (2025). Komparasi Ketahanan Erosi Dan Korosi Pada Coating Hidrofobik Sol-Gel Dan Silika-Pdms Untuk Logam Alloy. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 8(2), 375-383. <https://doi.org/10.30596/Rmme.V8i2.25159>
- Putri, A. R., & Munasir, M. (2023). Lapisan Superhidrofobik Berbasis Silika Sebagai Aplikasi Self-Cleaning: Kata Kunci: Superhidrofobik; Self-Cleaning; Silika; Sol-Gel. *Inovasi Fisika Indonesia*, 12(2), 66-81. <https://doi.org/10.26740/Ifi.V12n2.P66-81>
- Shi, Q., Liu, C., Xue, Y., Xue, Y., Zhang, C., Lu, W., Wen, Y., & Lv, S. (2024). The Early Performance Development Of Hot In-Place Recycled Asphalt Mixture. *Coatings*, 14(2). <https://doi.org/10.3390/Coatings14020175>
- Tudu, B. K., Sinhamahapatra, A., & Kumar, A. (2020). Surface Modification Of Cotton Fabric Using Tio₂ Nanoparticles For Self-Cleaning, Oil-Water Separation, Antistain, Anti-Water Absorption, And Antibacterial Properties. *Acs Omega*, 5(14), 7850–7860. <https://doi.org/10.1021/Acsomega.9b04067>
- Wahyusi, K. N., Setiajie, M. Y., & Nofianto, M. (2022). Pelapisan Kain Dryfit Dengan Tetraetilortosilikat (Teos) Dan Nonacosanediods. *Jurnal Teknik Kimia*, 17(1), 34-40. https://doi.org/10.33005/Jurnal_Tekkim.V17i1.3488
- Wang, L., Xie, G., Mi, X., Zhang, B., Du, Y., Zhu, Q., & Yu, Z. (2023). Surface-Modified Tio₂@Sio₂ Nanocomposites For Enhanced Dispersibility And Optical Performance To Apply In The Printing Process As A Pigment. *Acs Omega*, 8(22), 20116–20124. <https://doi.org/10.1021/Acsomega.3c02679>
- Widodo, E. (2022). Buku Ajar Mekanika Komposit Dan Bio-Komposit. *Umsida Press*, 1-111. <https://doi.org/10.21070/2022/978-623-464-042-7>
- Zhao, Q., Xu, D., Liu, Z., Zhao, Y., & Zhang, H. (2026). Preparation And Properties Of Nano-Tio₂/Sio₂ Composite Sol-Modified Cotton Fabrics. *Royal Society Open Science*, 13(1). <https://doi.org/10.1098/Rsos.242045>
- Zola, N. F., Hidayat, R., Gusnedi, G., & Jhora, F. (2024). Analysis Of Electrical Properties Of Fe₃O₄/Graphene Oxide Nanocomposites Synthesized From Corn Cob Waste. *Journal Of Climate Change Society*, 2(1). <https://doi.org/10.24036/Jccs/Vol2-Iss1/28>