UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Membran Nanofiber dengan Karakteristik Superhidrofobik dan Tahan Suhu Tinggi untuk Aplikasi Membran
Filter Udara Berstandar ISO 16890**
Rizky Aflaha, Prof. Dr.Eng. Kuwat Triyana, M.Si.; Prof. Drs. Roto, M.Eng., Ph.D.; Dr. Aditya Rianjanu
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL i
HALAMAN JUDUL ii
HALAMAN PENGESAHAN iii
PERNYATAAN iv
MOTO DAN PERSEMBAHAN v
PRAKATA vi
DAFTAR ISI viii
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR TABEL xiv
INTISARI xv
ABSTRACT xvi
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Rumusan Masalah 6
1.3. Batasan Masalah 7
1.4. Tujuan Penelitian 7
1.5. Manfaat Penelitian 8
1.6. Kebaharuan 8
1.7. Sistematika Penulisan 9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 10
BAB III LANDASAN TEORI 16
3.1. Standar ISO 16890 16
3.2. *Particulate matter* (PM) 19
3.3. Parameter performa membran filter udara 19
3.3.1. Efisiensi 19
3.3.2. Penurunan tekanan (*pressure drop*) 21
3.3.3. Faktor kualitas (*quality factor)* 21
3.4. *Polyacrylonitrile* (PAN) 22
3.5. *Polysulfone* (PSU) 23

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Membran Nanofiber dengan Karakteristik Superhidrofobik dan Tahan Suhu Tinggi untuk Aplikasi Membran Filter Udara Berstandar ISO 16890
Rizky Aflaha, Prof. Dr.Eng. Kuwat Triyana, M.Si.; Prof. Drs. Roto, M.Eng., Ph.D.; Dr. Aditya Rianjanu
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.6. *Polytetrafluoroethylene* (PTFE) 24
3.7. *Electrospinning* 25
3.8. Metode Karakterisasi 26
3.8.1. *Scanning electron microscopy* (SEM) 26
3.8.2. *Fourier-transform infrared* (FTIR) 27
3.8.3. *Thermogravimetric analysis* (TGA) 27
3.8.4. *Tensile strength analysis* 28
3.8.5. *Water contact angle* (WCA) 28
BAB IV METODE PENELITIAN 30
4.1. Waktu dan Tempat Penelitian 30
4.2. Bahan Penelitian 30
4.3. Alat Penelitian 31
4.4. Prosedur Penelitian 32
4.4.1. Pembuatan larutan PAN, PAN/PSU, dan PAN/PSU/PTFE 35
4.4.2. Proses fabrikasi nanofiber PAN, PAN/PSU, dan PAN/PSU/PTFE 35
4.4.3. Karakterisasi nanofiber PAN, PAN/PSU, dan PAN/PSU/PTFE 36
4.4.4. Pengujian efisiensi nanofiber sebagai filter udara 38
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 40
5.1. Optimasi morfologi dan hidrofobisitas nanofiber PAN/PSU 40
5.2. Morfologi, diameter, dan porositas nanofiber PAN/PSU/PTFE 47
5.3. Komposisi kimia dari nanofiber 52
5.4. Tingkat hidrofobisitas nanofiber 56
5.5. Tingkat ketahanan panas nanofiber 58
5.6. Kekuatan mekanik nanofiber 62
5.7. Performa membran nanofiber sebagai filter PM1.0 dan PM2.5 65
5.8. Durabilitas nanofiber PAN/PSU/PTFE sebagai membran filter udara 70
5.9. Perbandingan performa nanofiber PAN/PSU/PTFE dengan membran filter pada penelitian sebelumnya 76
5.10. Hidrofobisitas permukaan 79
5.11. Mekanisme filtrasi 80
BAB VI PENUTUP 83

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Membran Nanofiber dengan Karakteristik Superhidrofobik dan Tahan Suhu Tinggi untuk Aplikasi Membran
Filter Udara Berstandar ISO 16890**
Rizky Aflaha, Prof. Dr.Eng. Kuwat Triyana, M.Si.; Prof. Drs. Roto, M.Eng., Ph.D.; Dr. Aditya Rianjanu
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

6.1. Kesimpulan 83
6.2. Saran 84
DAFTAR PUSTAKA 85
LAMPIRAN 102
Lampiran 1. Hasil pengukuran dan perhiutngan diameter nanofiber PAN, PSU, dan PAN/PSU 102
Lampiran 2. Pengukuran *water contact angle* (WCA) nanofiber dan *thin film* PAN, PSU, dan PAN/PSU 104
Lampiran 3. Hasil pengukuran diameter nanofiber PAN/PSU/PTFE 105
Lampiran 4. Pengukuran dan perhitungan *water contact angle* (WCA) nanofiber PAN/PSU/PTFE 109
Lampiran 5. Hasil pengukuran *tensile strength* nanofiber PAN, PAN/PSU, dan PAN/PSU/PTFE 110
Lampiran 6. Hasil pengukuran efisiensi filtrasi dan *pressure drop*, serta perhitungan *quality factor* 111
Lampiran 7. Hasil pengukuran durabilitas membran nanofiber setelah 4 bulan penyimpanan dari nanofiber PAN/PSU/PTFE2 112
CURRICULUM VITAE (CV) 113

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Membran Nanofiber dengan Karakteristik Superhidrofobik dan Tahan Suhu Tinggi untuk Aplikasi Membran
Filter Udara Berstandar ISO 16890**
Rizky Aflaha, Prof. Dr.Eng. Kuwat Triyana, M.Si.; Prof. Drs. Roto, M.Eng., Ph.D.; Dr. Aditya Rianjanu
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Tinjauan pustaka penelitian membran filter udara berbasis nanofiber 15
Gambar 3.1. Skematis diagram *electrospinning* 25
Gambar 4.1. Diagram alir penelitian..... 33
Gambar 4.2. Pembuatan larutan PAN, PAN/PSU, dan PAN/PSU/PTFE 35
Gambar 4.3. Proses *electrospinning* larutan PAN, PAN/PSU, dan PAN/PSU/PTFE 36
Gambar 4.4. Setup pengujian efisiensi membran filter udara (Nano-Filtrack)..... 39
Gambar 5.1. Citra *scanning electron microscope* (SEM) dari nanofiber (a) PAN, (b) PAN/PSU, dan (c) PSU dengan perbesaran 15.000× dan 5.000×.... 41
Gambar 5.2. Distribusi diameter nanofiber (a) PAN, (b) PAN/PSU1, (c) PAN/PSU2, (d) PAN/PSU3, (e) PAN/PSU4, dan (f) PSU. Pengukuran dilakukan menggunakan *software* ImageJ berdasarkan citra *scanning electron microscope* (SEM) yang didapatkan (data disajikan dengan aturan angka penting)..... 43
Gambar 5.3. *Water contact angle* (WCA) dari nanofiber (a) PAN, (b) PAN/PSU, dan (c) PSU. WCA mengindikasikan tingkat hidrofobisitas dari nanofiber. 44
Gambar 5.4. *Water contact angle* (WCA) dari *thin film* (a) PAN, (b) PAN/PSU, dan (c) PSU. *Thin film* memiliki nilai WCA yang jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan nanofiber..... 45
Gambar 5.5. Rangkuman nilai *water contact angle* (WCA) PAN, PAN/PSU, dan PSU dalam struktur (a) nanofiber dan (b) *thin film* 46
Gambar 5.6. Citra *scanning electron microscope* (SEM) dari nanofiber (a) PAN/PSU/PTFE1, (b) PAN/PSU/PTFE2, dan (c) PAN/PSU/PTFE3, dengan perbesaran 15.000× (baris pertama) dan 5.000× (baris kedua) 48
Gambar 5.7. Distribusi diameter nanofiber (a) PAN/PSU/PTFE1, (b) PAN/PSU/PTFE2, dan (c) PAN/PSU/PTFE3. Distribusi diameter

Membran Nanofiber dengan Karakteristik Superhidrofobik dan Tahan Suhu Tinggi untuk Aplikasi Membran
Filter Udara Berstandar ISO 16890
Rizky Aflaha, Prof. Dr.Eng. Kuwat Triyana, M.Si.; Prof. Drs. Roto, M.Eng., Ph.D.; Dr. Aditya Rianjanu
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

diukur menggunakan *software* ImageJ berdasarkan citra *scanning electron microscope* (SEM). (d) Rangkuman distribusi diameter dari nanofiber 50

Gambar 5.8. Hasil pengukuran porositas dari nanofiber (a) PAN, (b) PAN/PSU2, dan (c) PAN/PSU/PTFE, menggunakan metode *adjusted contrast* pada *sortware* ImageJ 51

Gambar 5.9. (a) Spektrum *Fourier-transform infrared* (FTIR) dari nanofiber PAN dan PAN/PSU, serta kristal PSU. (b) Spektrum FTIR dari nanofiber PAN/PSU/PTFE dan serbuk PTFE 53

Gambar 5.10. Nilai *water contact angle* (WCA) dari nanofiber (a) PAN, (b) PAN/PSU2, (c) PAN/PSU/PTFE1, (d) PAN/PSU/PTFE2, dan (e) PAN/PSU/PTFE3 56

Gambar 5.11. Hasil pengujian *thermogravimetric analysis* (TGA) dari (a) nanofiber PAN dan PAN/PSU2, dan (b) nanofiber PAN/PSU//PTFE..... 59

Gambar 5.12. Hasil pengujian SEM dari nanofiber PAN/PSU/PTFE2 setelah dipaparkan pada suhu 70 °C, 100 °C, 150 °C, 200 °C, dan 230 °C 62

Gambar 5.13. Hasil pengukuran kekuatan tarik (*tensile strength*) nanofiber PAN, PAN/PSU2, dan PAN/PSU/PTFE 64

Gambar 5.14. Penampakan visual dari nanofiber PAN/PSU/PTFE2 setelah dialiri udara dengan berbagai variasi kecepatan..... 65

Gambar 5.15. Efisiensi nanofiber PAN, PAN/PSU2, PAN/PSU/PTFE terhadap (a) PM1.0 dan (b) PM2.5 67

Gambar 5.16. Hasil pengukuran *pressure drop* dari nanofiber PAN, PAN/PSU2, dan PAN/PSU/PTFE 68

Gambar 5.17. *Quality factor* dari nanofiber PAN, PAN/PSU2, dan PAN/PSU/PTFE terhadap (a) PM1.0 dan (b) PM2.5 70

Gambar 5.18. Efisiensi filtrasi nanofiber PAN/PSU/PTFE2 terhadap PM1.0 dan PM2.5 pada hari pertama dan setelah 4 bulan penyimpanan..... 70

Gambar 5.19. *Pressure drop* dari nanofiber PAN/PSU/PTFE2 pada hari pertama dan setelah 4 bulan penyimpanan 71

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Membran Nanofiber dengan Karakteristik Superhidrofobik dan Tahan Suhu Tinggi untuk Aplikasi Membran Filter Udara Berstandar ISO 16890
Rizky Aflaha, Prof. Dr.Eng. Kuwat Triyana, M.Si.; Prof. Drs. Roto, M.Eng., Ph.D.; Dr. Aditya Rianjanu
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar 5.20. *Quality factor* nanofiber PAN/PSU/PTFE2 terhadap PM1.0 dan PM2.5 71
Gambar 5.21. (a) Efisiensi filtrasi dan (b) *pressure drop* dari nanofiber PAN/PSU/PTFE2 terhadap PM1.0 dan PM2.5 selama pengulangan sebanyak 10 siklus 73
Gambar 5.22. *Quality factor* dari nanofiber PAN/PSU/PTFE2 terhadap PM1.0 dan PM2.5 selama pengulangan sebanyak 10 siklus 74
Gambar 5.23. Gambar SEM dari nanofiber PAN/PSU/PTFE2 setelah pengujian filtrasi (a) siklus pertama dan (b) siklus ke-10 dengan perbesaran 5000× dan 1000× 76
Gambar 5.24. Ilustrasi membran dengan karakteristik superhidrofobik. Uap air dan udara dapat dengan mudah melewati membran nanofiber sedangkan tetap dapat menahan droplet air untuk penetrasi ke dalam nanofiber 80
Gambar 5.25. Mekanisme filtrasi antara nanofiber dan PM. Impaksi inersia, intersepsi, dan difusi Brown menjadi mekanisme utama membran filter berbasis nanofiber 81

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Membran Nanofiber dengan Karakteristik Superhidrofobik dan Tahan Suhu Tinggi untuk Aplikasi Membran
Filter Udara Berstandar ISO 16890**
Rizky Aflaha, Prof. Dr.Eng. Kuwat Triyana, M.Si.; Prof. Drs. Roto, M.Eng., Ph.D.; Dr. Aditya Rianjanu
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Persyaratan filter udara berdasarkan ISO 16890 17
Tabel 3.2. Klasifikasi filter udara berdasarkan standar efisiensi ISO 16890 17
Tabel 3.3. Standar pengujian filter udara berdasarkan ISO 16890 18
Tabel 4.1. Variasi sampel penelitian 34
Tabel 5.1. Diameter, volume *dropcast*, dan *water contact angle* (WCA) dari struktur nanofiber dan *thin film* PAN, PAN/PSU, dan PSU (data disajikan dengan aturan angka penting) 47
Tabel 5.2. Rangkuman nilai distribusi diameter dan porositas dari nanofiber PAN, PAN/PSU2, dan PAN/PSU/PTFE (ditulis dengan aturan angka penting) 52
Tabel 5.3. Rangkuman puncak-puncak serapan hasil *Fourier-transform infrared* (FTIR) dari nanofiber PAN, PAN/PSU2, dan PAN/PSU/PTFE, serta kristal PSU dan serbuk PTFE 54
Tabel 5.4. *Water contact angle* (WCA) dari nanofiber PAN, PAN/PSU2, dan PAN/PSU/PTFE 57
Tabel 5.5. Rangkuman persentase residual massa dari nanofiber PAN, PAN/PSU2, dan PAN/PSU/PTFE 61
Tabel 5.6. Rangkuman performa filtrasi dari nanofiber PAN, PAN/PSU2, dan PAN/PSU/PTFE pada hari pengujian pertama dan setelah penyimpanan selama 4 bulan (ditulis dengan aturan angka penting) 72
Tabel 5.7. Rangkuman performa filtrasi dari nanofiber PAN/PSU/PTFE2 selama pengujian sebanyak 10 siklus 73
Tabel 5.8. Performa filtrasi dari membran-membran filter yang dihasilkan dari penelitian-penelitian sebelumnya 78