

LAPORAN PENELITIAN
PENGEMBANGAN NANOGENERATOR DI DAERAH TERPENCIL



Dosen Pengampu:

Heru Syah Putra, S.Kom.,M.Sc.Eng

Dibuat Oleh :

Kelompok 7

Althaf Aqbil Putra Pratama	101022300068
Bagaskara Priyatna	101022300255
Alya Aulia Putri	101022330153
Allif Ilham Maulana	101022330122

JURUSAN S1 TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK ELEKTRO
TELKOM UNIVERSITY BANDUNG
2023

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji dan syukur kehadiran Allah SWT, kami dapat menyelesaikan tugas besar ini yang merupakan bagian dari mata kuliah Teknik Elektro. Tugas besar ini kami susun sebagai bagian dari penilaian akhir semester guna menguji pemahaman dan aplikasi konsep-konsep yang telah kami pelajari dalam mata kuliah ini.

Tugas besar ini membahas tentang Pengembangan Sistem Tenaga Mikro dan Nano, kami bertujuan untuk Mendalami dan mengaplikasikan pengetahuan yang telah kami peroleh selama perkuliahan, Mengembangkan keterampilan analisis dan pemecahan masalah di bidang Teknik Elektro. Menyajikan hasil penelitian dan implementasi konsep secara sistematis dan komprehensif.

Penyelesaian laporan ini terwujud atas bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, untuk itu kami ucapkan terima kasih kepada :

1. Heru Syah Putra, S.Kom.,M.Sc.Eng., Yang telah memberikan bimbingan, panduan, dan penilaian selama proses pembelajaran.
2. Teman-teman Yang turut berkontribusi dalam diskusi dan bertukar informasi terkait topik tugas besar ini.
3. Orang tua yang telah memberi dukungan berbentuk moril maupun materil.

Kami menyadari bahwa penulisan ini jauh dari kata sempurna, namun kami berharap bahwa hasil dari upaya kami ini dapat memberikan kontribusi positif dan menjadi bahan referensi yang berguna tidak hanya bagi kami pribadi, tetapi juga bagi pembaca.

Semoga tugas besar ini dapat mencerminkan semangat dan dedikasi kami dalam memahami serta mengimplementasikan ilmu yang telah diperoleh selama perkuliahan.

Bandung, 10 Desember 2023

Hormat kami

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	ii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. LATAR BELAKANG	1
1.2. PERMASALAHAN	2
1.3. TUJUAN PENELITIAN.....	2
1.4. SIGNIFIKANSI TOPIK	3
1.5. RUANG LINGKUP DAN BATASAN PENELITIAN.....	3
BAB II LITERATURE REVIEW.....	5
2.1. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.2. KONSEP DASAR NANO DAN MIKRO ELEKTRO.....	5
2.3. PERKEMBANGAN TEKNOLOGI SISTEM TENAGA NANO DAN MIKRO	6
2.4. APLIKASI SISTEM TENAGA NANO DAN MIKRO.....	7
2.5. TANTANGAN DAN HAMBATAN	8
2.6. DEFINISI SISTEM TENAGA SKALA KECIL.....	9
2.7. JENIS-JENIS SISTEM TENAGA SKALA KECIL	10
2.8. KEUNTUNGAN DAN KERUGIAN SISTEM TENAGA KECIL	11
BAB III METODOLOGI.....	13
3.1. DESAIN PENELITIAN	13
3.2. PENGUMPULAN DATA.....	13
3.3. ANALISIS DATA	14
3.4. DESAIN ALAT	17
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	18
4.1. HASIL.....	18
4.1.1. PENGEMBANGAN NANOGENERATOR DI DAERAH TERPENCIL	18
4.1.2. IMPLEMENTASI DI DAERAH TERPENCIL	18

4.2	PEMBAHASAN	19
4.2.1.	KEEFEKTIFAN NANOGENERATOR DI DAERAH TERPENCIL	19
4.2.2.	BERIKUT ADA BEBERAPA POTENSI KELEBIHAN NANOGENERATOR	21
4.2.3.	KETAHANAN DAN KEANDALAN NANOGENERATOR	22
4.2.4.	ASPEK SOSIAL DAN EKONOMI	22
4.2.5.	HAMBATAN DAN TANTANGAN	23
4.2.6.	REKOMENDASI UNTUK PENGEMBANGAN SELANJUTNYA	24
	BAB V PENUTUP	25
5.1	KESIMPULAN	25
5.2.	SARAN	25
	REFERENSI	26

BAB I Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Kebutuhan manusia akan penggunaan teknologi semakin berkembang, sehingga membuat teknologi semakin berkembang sangat pesat dalam menyediakan kebutuhan-kebutuhan dasar yang sudah menjadi pokok dari teknologi itu sendiri seperti kecepatan, ketepatan, otomatisasi yang tidak berhenti mengganggu jalannya sebuah proses yang terkait langsung terhadap teknologi yang sedang digunakan. Perkembangan teknologi meliputi berbagai macam bidang, salah satunya meliputi bidang teknologi dalam skala nano dan mikro elektro.

Kemajuan teknologi dalam skala nano dan mikro elektro memberikan peluang baru dalam pengembangan sistem tenaga yang lebih efisien dan fleksibel. Sistem tenaga ini dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, mulai dari perangkat medis hingga sensor nirkabel dan teknologi wearable.

Secara sederhananya, teknologi nano merupakan teknologi yang berbasis pada rekayasa material dalam skala nanometer ($1-100 \times 10^{-9}$ meter). Konsep teknologi nano pertama kali diperkenalkan oleh fisikawan Richard Feynman pada tahun 1959 melalui presentasinya yang berjudul "There's Plenty of Room at the Bottom". Feynman mencetuskan idenya tentang kemungkinan merekayasa dan mengontrol materi yang sangat kecil untuk membuat mesin yang berukuran sekelas molekul. Pada masanya ide-ide Feynman hanya dianggap sebagai sebuah lelucon, yang kemudian dideskripsikan dalam bukunya berjudul "Surely You're Joking, Mr. Feynman". Hingga kurang lebih 20 tahun kemudian, Eric Drexler secara lebih spesifik menjelaskan konsep konstruksi sebuah mesin yang sangat kecil dari himpunan atom-atom. Drexler juga secara independen menggunakan istilah nanoteknologi dalam bukunya "Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology".

Dalam dunia nano, hukum fisika yang berlaku secara umum tidak lagi sama dengan yang kita rasakan sehari-hari. Dunia nano mengikuti aturan fisika kuantum. Dengan mengecilnya ukuran sebuah material menjadi berskala

nanometer, sifat dan karakteristiknya pun berubah. Misal, karbon dalam wujud grafit yang sering kita temukan pada pensil memiliki karakteristik yang tidak keras dan mudah sekali patah. Namun, saat karbon dibuat menjadi nanomaterial seperti carbon nanotube (CNT), sifat mekanisnya berubah menjadi sangat kuat melebihi baja, namun lebih ringan dan memiliki elastisitas yang tinggi.

1.2. Permasalahan

Meskipun potensi pengembangan sistem tenaga nano dan mikro sangat besar, masih ada beberapa tantangan teknis yang perlu diatasi. Maka dari itu, permasalahan yang mungkin dihadapi antara lain:

- 1) Efisiensi: Sistem tenaga mikro dan nano cenderung memiliki efisiensi yang rendah karena ukuran partikel yang sangat kecil dan adanya hambatan-hambatan permukaan yang signifikan.
- 2) Manajemen Panas: Dalam skala nano, manajemen panas menjadi sangat penting karena partikel-partikel kecil cenderung mengalami kenaikan suhu yang signifikan akibat efek termal.
- 3) Integrasi dengan Teknologi yang Ada: Mengintegrasikan sistem tenaga mikro dan nano ke dalam teknologi yang ada, seperti baterai dan sel surya, merupakan tantangan tersendiri karena perbedaan skala dan karakteristik sistem.
- 4) Biaya Produksi: Produksi sistem tenaga mikro dan nano secara massal mungkin akan mahal karena memerlukan teknologi produksi yang canggih dan bahan-bahan yang relatif mahal.
- 5) Keandalan: Sistem tenaga mikro dan nano rentan terhadap fluktuasi lingkungan dan perubahan kondisi operasional, sehingga memerlukan desain yang sangat handal dan toleran terhadap gangguan.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan sistem tenaga nano dan mikro yang inovatif, efisien, dan dapat diimplementasikan dalam

berbagai aplikasi praktis khususnya di daerah terpencil. Selain itu penelitian ini dibuat untuk memenuhi tugas besar dari mata kuliah pengenalan teknik elektro.

1.4. Signifikansi Topik

- 1 Pembangkit Energi Ramah Lingkungan : Nanogenerator menawarkan potensi sebagai sumber energi alternatif yang ramah lingkungan. Mereka dapat mengubah energi mekanik dari getaran, tekanan, atau gerakan menjadi energi listrik, yang dapat digunakan untuk berbagai aplikasi, termasuk dalam pengembangan teknologi energi terbarukan
- 2 Pengembangan Teknologi : Nanogenerator merupakan contoh nyata dari pengembangan teknologi nano yang inovatif. Mereka memanfaatkan sifat- sifat material pada skala nano, seperti sifat piezoelektrik pada kawat nano, untuk menciptakan solusi-solusi teknologi yang baru dan potensial.

1.5. Ruang lingkup dan Batasan penelitian

Ruang Lingkup Penelitian:

Pengembangan Teknologi Energi Mikro dan Nano:

- 1) Fokus pada pengembangan teknologi energi mikro dan nano untuk memperoleh sumber energi yang lebih efisien dan berkelanjutan.
- 2) Penelitian pada berbagai jenis teknologi, seperti nanogenerator, baterai mikro, dan sistem penyimpanan energi nano.

Aplikasi dalam Skala Mikro dan Nano:

- 3) Mengeksplorasi aplikasi teknologi energi ini dalam skala mikro dan nano, seperti perangkat berukuran mikro dan sensor nanoskala.
- 4) Penelitian mengenai cara mengoptimalkan efisiensi energi pada skala yang sangat kecil.

Material dan Desain Nano:

- 5) Investigasi terhadap material nanoskala untuk pengembangan sistem energi, seperti material nanokomposit dan nanoteknologi terbaru.
- 6) Fokus pada desain nano yang dapat meningkatkan kinerja dan efisiensi sistem.

Aspek Lingkungan dan Keberlanjutan:

- 7) Memperhatikan dampak lingkungan dari pengembangan teknologi ini dan mencari solusi untuk meningkatkan keberlanjutan.
- 8) Menyelidiki cara untuk mengurangi dampak lingkungan dalam siklus hidup sistem energi mikro dan nano.

Batasan Penelitian:

Skala Pengembangan:

- 9) Penelitian ini terbatas pada pengembangan teknologi energi mikro dan nano dan tidak melibatkan pengembangan sistem energi dalam skala besar.

Aplikasi Tertentu:

- 10) Fokus pada aplikasi tertentu dalam pengembangan sistem energi, misalnya, nanogenerator

Aspek Keamanan dan Etika:

- 11) Penelitian tidak mencakup secara mendalam aspek keamanan dan pertimbangan etika terkait dengan penggunaan teknologi energi mikro dan nano.

Aspek Ekonomi:

- 12) Penelitian tidak akan mencakup analisis ekonomi yang mendalam, seperti biaya produksi dan aspek bisnis terkait dengan penerapan teknologi ini.

Ketersediaan Material:

- 13) Batasan terkait ketersediaan material nanoskala dan keterbatasan produksi dalam jumlah besar.

Pengaruh Eksternal:

- 14) Batasan terhadap pengaruh faktor eksternal, seperti fluktuasi pasar dan perubahan kebijakan, pada pengembangan sistem tenaga mikro dan nano.

BAB II LITERATURE REVIEW

2.1. Tinjauan Pustaka

- 1) Pada tahun 2018, Lukman Nulhakim melakukan penelitian yang berjudul “KARAKTERISTIK NANOGENERATOR PIEZOELEKTRIK ZnO DOPING Co₃O₄”. Penelitian tersebut bertujuan untuk meningkatkan unjuk kerja nanogenerator piezoelektrik berbasis ZnO.
- 2) Pada tahun 2020, Kaiqin Zhao dan Zhi Yuan Zhu melakukan penelitian yang berjudul “Penerapan Nanogenerator Triboelektrik pada Rumah Pintar”. Penelitian tersebut bertujuan untuk memahami prinsip kerja nanogenerator triboelektrik
- 3) Pada tahun 2018, Ömer Faruk Ünsal dan Ayşe Çelik Bedeloğlu melakukan penelitian yang berjudul “Tren Terkini dalam Nanogenerator Fleksibel: The riview”. Penelitian ini bertujuan untuk mengamati nanogenerator yang mengubah energi mekanik/panas menjadi listrik yang merupakan teknologi baru yang menarik karena menghasilkan energi dari lingkungan.

2.2. Konsep Dasar Nano dan Mikro Elektro

Nanoteknologi adalah manipulasi materi pada skala atomik dan skala molekular, dengan diameter atom berkisar antara 62 pikometer (atom Helium) sampai 520 pikometer (atom Cesium), dan kombinasi dari beberapa atom membentuk molekul dengan kisaran ukuran nano.

Teknologi nano dan mikro elektro berfokus pada penggunaan materi dalam skala nanometer ($1-100 \times 10^{-9}$ meter), yang memiliki karakteristik dan sifat yang unik dan belum pernah diperoleh sebelumnya dalam sejarah teknologi.

Penelitian dan pengembangan teknologi nano melibatkan pengembangan material dan perangkat skala nano yang dapat meningkatkan kapasitas, kecepatan pengisian, dan umur pakai sistem.

Berikut adalah beberapa prinsip kerja teknologi nano dan mikro elektro: Manipulasi Materi: Teknologi nano melibatkan manipulasi materi pada skala atomik dan molekuler, sementara teknologi mikro berfokus pada manipulasi

materi pada skala mikrometer. Dengan mengubah struktur atom, maka karakter dan fungsi materi akan berubah, dan dapat menghasilkan zat dengan fungsi dan karakter sesuai keinginan.

Pengembangan Material dan Perangkat: Teknologi nano dan mikro melibatkan pengembangan material dan perangkat skala nano dan mikro yang dapat meningkatkan kinerja dan efisiensi sistem.

Integrasi dalam Berbagai Bidang: Teknologi nano dan mikro telah diintegrasikan dalam berbagai bidang, seperti energi terbarukan, pertanian, elektronik, dan militer, untuk mencapai tujuan efisiensi tinggi dan ramah lingkungan

2.3. Perkembangan Teknologi Sistem Tenaga Nano dan Mikro

Menganalisis perkembangan terkini dalam teknologi energi nano dan mikro, serta aplikasi praktis yang telah ada. Perkembangan teknologi sistem tenaga nano dan mikro menjadi penting dalam era sains dan teknologi terkini. Berikut ini beberapa perkembangan terkait teknologi sistem tenaga nano dan mikro:

Teknologi nano dalam bidang pertanian: Teknologi nano dapat meningkatkan produktivitas dan kualitas produk pertanian, serta mengurangi dampak lingkungan. Penerapan teknologi nano dalam pertanian meliputi formulasi nano agrokimia, perangkat nano, dan penerapan sensor teknologi nano dalam mengidentifikasi penyakit serta residu dari agrokimia.

Teknologi nano untuk tenaga: Teknologi nano memiliki potensi untuk menaikkan kecekapan tenaga dalam setiap cawangan industri dan menyediakan penghasilan tenaga secara ekonomik melalui penyelesaian teknologi baru. Dalam aspek penyimpanan tenaga, teknologi nano telah menambahkan keberkasan pemangkin dengan menggunakan partikel nano sebagai bahan utama.

Sistem energi angin skala kecil: Sistem energi angin skala kecil diterapkan secara mandiri (stand alone) atau gabungan dengan pembangkit lain. Untuk kebutuhan individual misalnya untuk penerangan rumah tangga, catu daya peralatan komunikasi/pencatatan data dan pemompaan dapat digunakan sistem energi angin sampai dengan kapasitas sampai 1 kW, sedang untuk kebutuhan

kelompok bisa menggunakan sistem energi angin sampai dengan kapasitas sampai 10 kW.

Meskipun teknologi sistem tenaga nano dan mikro telah berkembang pesat, masih ada beberapa tantangan yang harus diatasi, seperti biaya yang tinggi, masalah teknis, dan keterbatasan infrastruktur. Walau bagaimanapun, inovasi dalam bidang teknologi nano dan mikro menjanjikan potensi yang besar untuk mendukung pertumbuhan sumber tenaga terbarukan dan memastikan kelestarian tenaga bersih-bersih di masa depan.

2.4. Aplikasi Sistem Tenaga Nano dan Mikro

Menjelaskan berbagai aplikasi potensial sistem tenaga nano dan mikro dalam berbagai industri, seperti kesehatan, komunikasi, dan IoT.

1) Industri Kesehatan :

Implan Medis : Penggunaan baterai mikro dan teknologi energi nano untuk memperpanjang masa pakai perangkat medis implantable seperti pacemaker, defibrillator, dan sensor kesehatan.

Sensor Pemantauan Kesehatan: Integrasi sistem tenaga nano pada sensor kesehatan yang dapat digunakan untuk pemantauan parameter vital, seperti glukosa darah atau tekanan darah, tanpa perlu mengganti baterai secara teratur.

2) Industri Komunikasi :

Perangkat Wearable: Integrasi nanogenerator pada perangkat wearable seperti jam tangan pintar atau pelacak kebugaran untuk menghasilkan daya dari gerakan pengguna.

Sensor dan IoT: Penggunaan sistem tenaga nano pada sensor dan perangkat Internet of Things (IoT) untuk memberikan daya pada jaringan sensor nirkabel dan perangkat cerdas.

3) industri elektronika konsumen :

Ponsel dan Gadget : Implementasi nanomaterial pada baterai untuk meningkatkan kapasitas penyimpanan dan umur baterai pada perangkat elektronika konsumen seperti ponsel cerdas dan tablet.

Perangkat Elektronik Portable : Penggunaan nanogenerator pada perangkat portable seperti kalkulator atau perangkat elektronik lainnya yang dapat menghasilkan daya dari sentuhan atau gerakan kecil.

4) Industri Otomotif :

Sensor dan Sistem Kontrol: Integrasi teknologi energi nano pada sensor dan sistem kontrol dalam kendaraan untuk mendukung sensor suhu, tekanan ban, atau sensor lainnya tanpa perlu baterai tambahan.

Energi Mekanis: penerapan nanogenerator pada bagian kendaraan yang mengalami getaran atau gerakan untuk menghasilkan daya tambahan.

5) Industri Energi Terbarukan :

Sensor Monitoring Infrastruktur Energi: Penggunaan sensor energi nano pada infrastruktur energi terbarukan, seperti turbin angin atau panel surya, untuk memantau kinerja dan kondisi operasional tanpa perlu perawatan teratur.

Teknologi Grid Cerdas: Integrasi teknologi energi mikro pada perangkat dalam sistem grid cerdas untuk mendukung monitoring dan kontrol yang lebih baik.

Penerapan sistem tenaga nano dan mikro dalam berbagai industri menawarkan solusi yang inovatif dan efisien, mengatasi keterbatasan daya dan ukuran yang seringkali menjadi hambatan dalam pengembangan teknologi.

2.5. Tantangan dan Hambatan

Mengidentifikasi tantangan utama yang dihadapi dalam pengembangan sistem tenaga nano dan mikro, serta solusi yang telah diusulkan.

Tantangan Skala Kecil: Sistem nano dan mikro beroperasi pada skala yang sangat kecil, yang menyebabkan tantangan dalam desain, manufaktur, dan pemantauannya.

Solusi: Kembangkan teknik manufaktur dan desain khusus untuk menangani jumlah kecil. Memanfaatkan nanoteknologi untuk memfasilitasi produksi dan pengelolaan komponen berukuran nano.

Efisiensi Energi Tantangan: Meningkatkan efisiensi energi pada skala nano dan mikro untuk memastikan ketahanan dan kinerja optimal.

Solusi: Menerapkan desain berdaya sangat rendah dan menggunakan material yang memungkinkan konsumsi energi rendah. Pengembangan sumber energi baru seperti generator nano dan perangkat energi mikro.

Keandalan dan Daya Tahan Tantangan: Perangkat nano dan mikro harus menunjukkan daya tahan dan keandalan yang tinggi, terutama ketika berhadapan dengan lingkungan ekstrem. Solusi: Kembangkan material yang tahan korosi dan tahan terhadap kondisi lingkungan yang keras. Menggunakan teknologi penyembuhan diri atau self-healing untuk meningkatkan daya tahan.

Keamanan Data Tantangan: Keamanan data dan privasi menjadi prioritas utama pada skala nano dan mikro, yang sering dikaitkan dengan jaringan IoT. Solusi : adalah pengembangan protokol keamanan khusus dan penggunaan teknologi kriptografi yang dapat diimplementasikan pada tingkat nano dan mikro.

Oleh karena itu, pengembangan sistem energi nano dan mikro memerlukan pendekatan holistik yang mencakup inovasi di berbagai bidang, termasuk material, manufaktur, dan desain sistem.

Untuk mengatasi tantangan-tantangan ini diperlukan penggunaan teknologi canggih, penelitian terhadap material baru, dan kolaborasi antar disiplin ilmu untuk mencapai kemajuan yang signifikan dalam bidang ini.

2.6. Definisi Sistem Tenaga Skala Kecil

Teknologi penyimpanan energi adalah berbagai metode dan teknologi yang digunakan untuk menyimpan energi dalam berbagai bentuk, seperti listrik, elektrokimia, kimia, mekanik, dan termal. Tujuan dari teknologi penyimpanan energi adalah untuk mendukung penggunaan sumber energi terbarukan dan memastikan ketersediaan energi yang dapat digunakan sewaktu-waktu. Beberapa teknologi penyimpanan energi yang berkembang saat ini meliputi baterai ion-litium, superkapasitor, flywheels, dan hydrogen storage. Aplikasi praktis dari teknologi penyimpanan energi meliputi penyimpanan energi surya dan angin, penyediaan daya cadangan untuk jaringan listrik, penyimpanan energi pada

kendaraan listrik, serta penyediaan listrik di daerah terpencil atau dalam situasi darurat. Meskipun teknologi penyimpanan energi telah berkembang pesat, masih ada beberapa tantangan yang harus diatasi, seperti biaya yang tinggi, masalah teknis, dan keterbatasan infrastruktur.

2.7. Jenis-jenis Sistem Tenaga Skala Kecil

1) Nanogenerator:

Sebuah perangkat nano-skala yang mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Dapat digunakan untuk menghasilkan daya dari gerakan mikroskopis, seperti getaran atau tekanan mekanis.

2) Baterai dan Sel Bahan Bakar Nano:

Pengembangan baterai dan sel bahan bakar dengan menggunakan material nano untuk meningkatkan kapasitas, kecepatan pengisian, dan umur pakai. Teknologi ini dapat diterapkan dalam perangkat berukuran mikro atau nano.

3) Nanoteknologi dalam Sel Surya:

Penggunaan nanoteknologi untuk meningkatkan efisiensi dan fleksibilitas sel surya, termasuk penggunaan bahan nanoskala dalam struktur sel surya dan pengembangan sel surya transparan.

4) Nanomaterial untuk Penyimpanan Energi:

Penelitian dan pengembangan nanomaterial untuk meningkatkan kapasitas dan efisiensi penyimpanan energi, seperti penggunaan nanostruktur dalam baterai lithium-ion atau superkapasitor.

5) Nanosensor Energi:

Pengembangan sensor energi nanoskala yang dapat mendeteksi perubahan energi atau suhu pada tingkat mikro atau nano. Dapat digunakan dalam berbagai aplikasi termasuk pemantauan lingkungan dan sistem pengaturan energi.

6) Nanogrid dan Jaringan Energi Mikro:

Sistem distribusi energi skala kecil yang menggunakan teknologi nano untuk mengatur aliran energi di antara berbagai sumber dan konsumen energi di tingkat mikro.

7) **Teknologi Pemanfaatan Energi Termal Nano:**

Penggunaan nanoteknologi dalam konversi energi termal untuk meningkatkan efisiensi pemanfaatan panas, seperti termoelektrik nanoskala.

8) **Nanoteknologi dalam Sistem Pendinginan:**

Pengembangan sistem pendinginan yang menggunakan nanoteknologi untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi pada perangkat elektronik skala kecil.

9) **Nanogenerator Piezoelektrik:**

Pemanfaatan materi piezoelektrik pada skala nano untuk menghasilkan energi dari perubahan tekanan atau getaran mekanis yang sangat kecil.

10) **Nanoteknologi dalam Konversi Energi:**

Penggunaan nanoteknologi dalam proses konversi energi, termasuk konversi energi panas ke listrik atau konversi energi cahaya menjadi energi listrik.

2.8. Keuntungan dan Kerugian Sistem Tenaga Skala Kecil

Keuntungan Sistem Tenaga Skala Kecil:

Akses Energi yang Terdesentralisasi: Sistem tenaga skala kecil memungkinkan akses energi yang terdesentralisasi, mengurangi ketergantungan pada infrastruktur energi besar dan transmisi jarak jauh.

Fleksibilitas Lokasi: Sistem ini dapat diimplementasikan di lokasi terpencil atau terpencil, memberikan akses energi pada daerah yang sulit dijangkau oleh jaringan listrik utama.

Keterjangkauan Biaya: Pembangunan dan operasional sistem tenaga skala kecil seringkali lebih terjangkau dibandingkan dengan pembangunan pembangkit besar, membuatnya lebih mudah diadopsi oleh komunitas atau perusahaan skala kecil.

Ramah Lingkungan: Banyak sistem tenaga skala kecil menggunakan sumber energi terbarukan seperti matahari, angin, atau air, mengurangi dampak lingkungan dan jejak karbon.

Pengurangan Kerugian Energi: Dengan adanya desentralisasi, kerugian energi yang biasanya terjadi selama transmisi energi jarak jauh dapat dikurangi.

Meningkatkan Keberlanjutan Lokal: Implementasi sistem tenaga skala kecil dapat mendukung keberlanjutan ekonomi dan sosial di tingkat lokal, menciptakan peluang pekerjaan dan pemberdayaan masyarakat.

Skalabilitas: Sistem ini dapat ditingkatkan secara bertahap sesuai dengan kebutuhan, memungkinkan pengembangan yang lebih terkendali dan sesuai dengan pertumbuhan permintaan.

Kerugian Sistem Tenaga Skala Kecil:

Kapasitas Terbatas: Sistem tenaga skala kecil mungkin memiliki kapasitas terbatas dibandingkan dengan pembangkit skala besar, yang dapat menjadi keterbatasan bagi area dengan kebutuhan energi yang tinggi.

Ketidakstabilan Pasokan Energi: Bergantung pada jenis teknologi yang digunakan, pasokan energi dapat dipengaruhi oleh fluktuasi alam seperti cuaca (pada pembangkit energi terbarukan) atau sumber energi lain yang tidak konsisten.

Biaya Awal yang Tinggi: Meskipun operasionalnya lebih terjangkau, biaya awal pengembangan dan instalasi sistem tenaga skala kecil, terutama untuk teknologi terbarukan, dapat tinggi.

Pemeliharaan yang Membutuhkan Keahlian Khusus: Pemeliharaan sistem tenaga skala kecil dapat membutuhkan keahlian teknis yang khusus, dan jika tidak dikelola dengan baik, dapat memerlukan biaya pemeliharaan yang tinggi.

Tergantung pada Sumber Energi Lokal: Bergantung pada sumber energi lokal tertentu seperti matahari atau angin, sistem tenaga skala kecil mungkin tidak cocok untuk daerah dengan potensi sumber energi yang rendah.

Dibutuhkan Partisipasi Komunitas: Keberhasilan sistem ini seringkali bergantung pada partisipasi dan dukungan aktif dari komunitas setempat, yang dapat menjadi tantangan terutama dalam hal pendidikan dan penerimaan masyarakat.

Rentan terhadap Pencurian dan Kerusakan: Sistem tenaga skala kecil, terutama di lokasi terpencil, dapat menjadi target pencurian atau kerusakan yang dapat mempengaruhi pasokan energi lokal

BAB III METODOLOGI

3.1. Desain Penelitian

Untuk mengaplikasikan nanogenerator yang sedang kami rancang tentu saja ada beberapa komponen yang kami butuhkan agar nanogenerator tersebut dapat tercipta, komponen tersebut yaitu:

- 1) Triboelectric Layer: Mengandung bahan triboelektrik yang menghasilkan muatan saat berinteraksi dengan permukaan lain.
- 2) Piezoelectric Material: Digunakan untuk mengkonversi energi kinetik menjadi listrik.
- 3) Pyroelektrik Material: Digunakan untuk mengubah energi panas menjadi listrik
- 4) Kapasitor: Untuk menyimpan muatan listrik yang dihasilkan.

Berikut adalah cara kerja nanogenerator yang kami rancang



3.2. Pengumpulan Data

Pada laporan kali ini kami menggunakan metode pengumpulan data sekunder. Kami menggunakan jurnal dan literatur yang sudah ada sebelumnya mengenai nanogenerator di daerah terpencil. Berikut adalah hasil jurnal atau literatur yang sudah kami dapatkan mengenai nanogenerator di daerah terpencil

- 1) "A Wind-Driven Rotating Micro-Hybrid Nanogenerator for Powering Environmental Monitoring Devices"

Penelitian ini mengembangkan nanogenerator hibrida berputar untuk mengumpulkan energi angin. Menggabungkan karakteristik triboelectric nanogenerator (TENG) dengan frekuensi rendah dan tegangan tinggi serta electromagnetic generator (EMG) dengan frekuensi tinggi dan arus tinggi, nanogenerator ini dapat memperluas rentang tegangan output dan memperpendek waktu naik tegangan kapasitor. Hasilnya adalah pengumpulan energi dari berbagai kecepatan angin. Nanogenerator ini dapat memberikan

pasokan daya berkelanjutan untuk alat pengukur kecepatan angin di daerah terpencil

2) "Recent Developments of Hybrid Piezo–Triboelectric Nanogenerators for Self-Powered Systems"

Penelitian ini membahas nanogenerator hibrida yang memanfaatkan sinergi mekanisme piezoelektrik dan triboelektrik untuk meningkatkan efisiensi pengumpulan energi. Nanogenerator ini dapat memenuhi kebutuhan energi dan daya perangkat elektronik portabel dan wearable.

3) "Output Enhanced Compact Multilayer Flexible Nanogenerator for Self-Powered Systems"

Penelitian ini berhasil menciptakan nanogenerator elektrostatik fleksibel dengan output luar biasa. Nanogenerator ini dapat menghasilkan arus yang cukup besar untuk menggerakkan sistem nirkabel dengan jarak efektif hingga 30 cm

3.3. Analisis Data

1. Karakteristik Nanogenerator

A. Output Daya

- 1) Nanogenerator Piezoelektrik berbasis ZnO/PDMS (Zinc Oxide/Polymethylsiloxane) dapat menghasilkan tegangan hingga 9 mV
- 2) Nanogenerator triboelektrik berbasis serat dapat menghasilkan tegangan hingga 35 V dengan kepadatan daya maksimum sekitar $34 \mu\text{W}/\text{cm}^2$
- 3) Nanogenerator Pyroelektrik berbasis nanofiber PVDF (Polyvinylidene Fluoride) yang terdoping dengan MWCNT (Multiwall Carbon Nanotube) dapat menghasilkan tegangan hingga 250 mV dari fluktuasi suhu sekitar 14,30 K

B. Efisiensi

1. Nanogenerator Piezoelektrik:

Efisiensi konversi energi piezoelektrik dapat bervariasi, tetapi umumnya berada dalam kisaran 1% hingga 30%

Efisiensi dapat dipengaruhi oleh faktor seperti geometri bahan, kepadatan daya, dan efisiensi material piezoelektrik.

2. Nanogenerator Triboelektrik:

Efisiensi konversi energi triboelektrik juga bervariasi, tetapi dapat mencapai hingga 50% dalam beberapa kasus .

Efisiensi dapat ditingkatkan dengan mengoptimalkan permukaan gesekan dan meminimalkan kehilangan energi.

3. Nanogenerator Pyroelektrik:

Efisiensi konversi energi pyroelektrik tergantung pada material dan desain nanogenerator. Beberapa nanogenerator pyroelektrik dapat mencapai efisiensi hingga 10% .

2. Keunggulan Nanogenerator

1) Kemandirian Energi

Nanogenerator memungkinkan penghasilan energi secara mandiri tanpa perlu mengandalkan infrastruktur listrik yang mungkin tidak tersedia di daerah terpencil.

2) Skalabilitas

Nanogenerator dapat ditingkatkan sesuai dengan kebutuhan. Dalam daerah terpencil, kita dapat mengimplementasikan nanogenerator dalam skala yang sesuai dengan populasi dan permintaan energi setempat.

3) Ramah Lingkungan

Nanogenerator menggunakan sumber daya yang ada di sekitarnya, seperti gerakan atau tekanan, untuk menghasilkan listrik. Ini mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengurangi dampak lingkungan.

4) Fleksibilitas Desain

Nanogenerator dapat dirancang dalam berbagai bentuk dan ukuran. Ini memungkinkan penyesuaian dengan kondisi geografis dan lingkungan di daerah terpencil.

5) Potensi Inovasi

Pengembangan nanogenerator di daerah terpencil mendorong inovasi dan penelitian lebih lanjut. Solusi yang diciptakan untuk daerah terpencil dapat diterapkan secara lebih luas.

3. Hambatan dan Tantangan

1) Kondisi Lingkungan

Lingkungan di daerah terpencil dapat sangat berbeda, misalnya dapat berupa perubahan cuaca, kelembaban, dan suhu. Nanogenerator harus dirancang untuk tahan terhadap kondisi lingkungan yang beragam

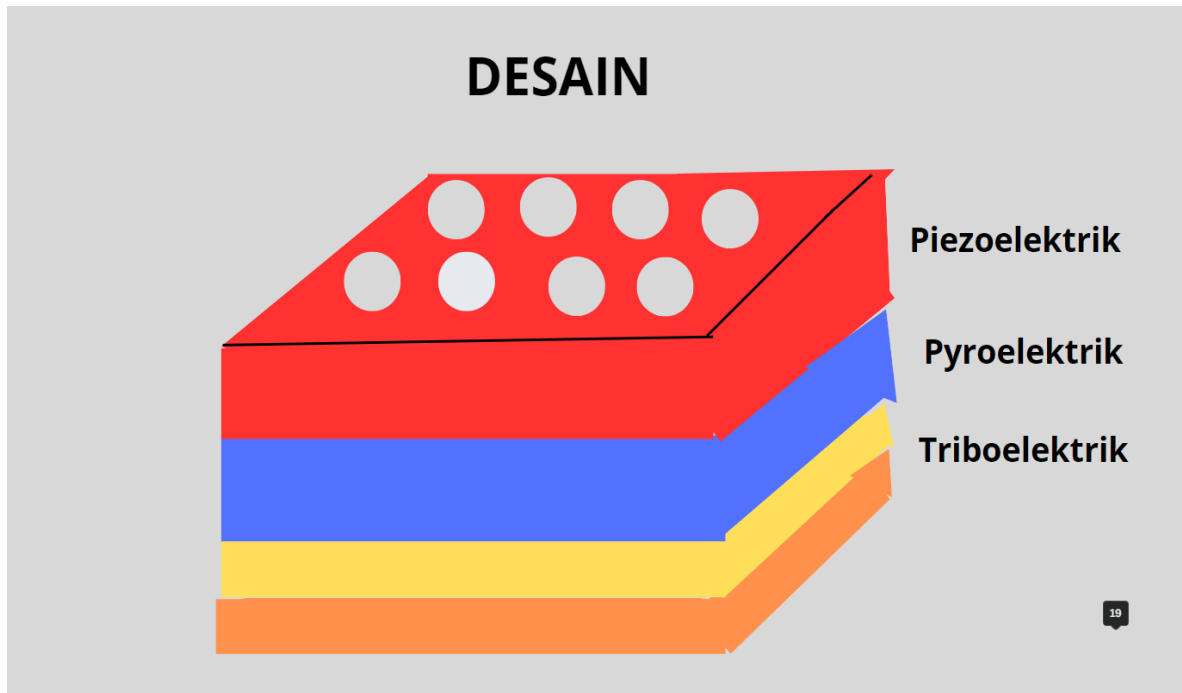
2) Kesadaran dan Pendidikan

Kesadaran pengetahuan mengenai nanogenerator dan manfaatnya mungkin rendah di daerah terpencil. Pendidikan dan sosialisasi mengenai nanogenerator perlu dilakukan agar masyarakat memahami potensi teknologi

3) Biaya dan Keberlanjutan

Pengembangan nanogenerator memerlukan investasi awal. Di daerah terpencil, pertimbangan biaya dan keberlanjutan menjadi krusial. Maka dari itu solusi yang ekonomis dan berkelanjutan harus dipertimbangkan.

3.4. Desain Alat



Pada laporan ini, kami ingin membuat nanogenerator dengan menggabungkan tiga jenis nanogenerator, yaitu nanogenerator piezoelektrik, nanogenerator pyroelektrik, dan nanogenerator triboelektrik. Hal ini kami lakukan agar nantinya nanogenerator yang kami rancang dapat menghasilkan daya listrik yang lebih optimal dan tidak hanya mengandalkan satu sumber energi saja, namu dapat mendapatkan energi dari suhu, getaran, dan mekanik secara langsung.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil

4.1.1. Pengembangan Nanogenerator di Daerah Terpencil:

Nanoteknologi adalah manipulasi materi pada skala atomik dan skala molekular, dengan diameter atom berkisar antara 62 pikometer (atom Helium) sampai 520 pikometer (atom Cesium), dan kombinasi dari beberapa atom membentuk molekul dengan kisaran ukuran nano. Pada laporan penelitian kali ini kami mengambil topik mengenai pengembangan nanogenerator di daerah terpencil.

Nanogenerator merupakan alat yang dapat merubah energi mekanik, energi termal, dan getaran menjadi energi listrik. Pada kesempatan kali ini, kami menggunakan beberapa komponen utama yang nantinya akan dibutuhkan dalam nanogenerator yang kami rancang, diantaranya triboelektrik layer, material piezoelektrik, material pyroelektrik, dan kapasitor.

4.1.2. Implementasi di Daerah Terpencil:

Untuk menyempurnakan rencana rancangan nanogenerator yang kami buat, kami membuat proses implementasi nanogenerator yang kami buat saat sudah ditempatkan di daerah-daerah terpencil yang sudah kami sebutkan sebelumnya. Kami berencana menempatkan nanogenerator yang kami rancang pada permukaan yang sering mengalami getaran atau gesekan, seperti jalan setapak, papan jembatan, atau bahan-bahan alam karena getaran dari langkah kaki, angin, atau gerakan alam lainnya akan menghasilkan energi mekanik yang nantinya dapat diubah menjadi energi listrik melalui efek piezoelektrik pada nanogenerator, setelah diubah menjadi energi listrik, energi listrik itu disimpan dalam kapasitor yang dapat menyuplai daya ke daerah sekitarnya.

Dengan adanya nanogenerator yang kami rancang ini, daerah terpencil dapat memiliki sumber energi alternatif untuk menghasilkan listrik secara mandiri, sehingga tidak ada lagi daerah yang memiliki akses terbatas ke listrik

karena sudah memiliki energi alternatifnya sendiri. Selain itu nanogenerator juga dapat digunakan untuk mengisi daya lampu penerangan atau gawai seperti ponsel, hal ini membantu meningkatkan kualitas hidup dan konektivitas di daerah terpencil.

Nanogenerator yang kami rancang juga memanfaatkan energi yang ada di alam sekitar tanpa mengganggu lingkungan, hal ini mendukung keberlanjutan dan pelestarian lingkungan di daerah terpencil.

4.2 Pembahasan

4.2.1. Keefektifan Nanogenerator di Daerah Terpencil:

Nanogenerator memiliki potensi yang sangat efektif dalam mengatasi tantangan energi di daerah terpencil. Berikut merupakan alasan mengapa nanogenerator dapat dikatakan efektif dalam mengatasi tantangan energi di daerah terpencil:

1) Kemandirian Energi:

Di daerah terpencil, akses ke jaringan listrik sering terbatas, sehingga nanogenerator dapat menjadi alternatif bagi masyarakat untuk memungkinkan masyarakat di daerah terpencil untuk menghasilkan listrik secara mandiri tanpa mengandalkan infrastruktur listrik yang kompleks.

2) Sumber Energi Terbarukan:

Nanogenerator mengumpulkan energi dari lingkungan sekitar, seperti energi kinetik, energi termal, getaran, gerakan, atau gesekan untuk diubah menjadi listrik. Oleh karena itu, nanogenerator memanfaatkan sumber daya terbarukan yang ada tanpa menghasilkan emisi berbahaya.

3) Penerangan dan Pengisian Gawai:

Nanogenerator dapat digunakan untuk mengisi daya lampu penerangan, ponsel, atau perangkat elektronik lainnya. Hal ini sangat efektif untuk membantu meningkatkan kualitas hidup dan konektivitas di daerah terpencil.

4) Konservasi Lingkungan:

Nanogenerator tidak mengganggu lingkungan karena mengambil energi dari proses alami seperti aliran air sungai, air terjun, langkah kaki, dan faktor alam

lainnya untuk mengubah energi yang dihasilkan dari benda alam tersebut menjadi energi listrik. Hal ini mendukung keberlanjutan dan pelestarian lingkungan di daerah terpencil.

5) **Biaya Rendah dan Perawatan Minim:**

Nanogenerator menggunakan material sederhana dan tidak memerlukan biaya operasional yang tinggi. Perawatannya juga relatif mudah.

6) **Dukungan untuk Pengembangan Lokal:**

Implementasi nanogenerator dapat melibatkan masyarakat setempat dalam perakitan dan pemeliharaan. Hal ini menciptakan peluang kerja bagi masyarakat sekitar dan memperkuat ekonomi lokal.

Untuk lebih menjelaskan kelebihan nanogenerator dibanding dengan sistem energi konvensional, kami sudah merangkum beberapa poin, sebagai berikut:

1. **Efisiensi Energi:**

Nanogenerator:

- a) Memanfaatkan energi mekanik dari lingkungan sekitar (getaran, gerakan, gesekan) menjadi listrik.
- b) Efisiensi bervariasi tergantung pada desain dan material nanogenerator.

Solusi Energi Konvensional:

- c) Bergantung pada sumber energi seperti batu bara, minyak, atau tenaga nuklir.
- d) Efisiensi bervariasi, tetapi seringkali lebih tinggi daripada nanogenerator.

2. **Biaya dan Infrastruktur:**

Nanogenerator:

- a) Biaya produksi dan instalasi relatif rendah.
- b) Tidak memerlukan infrastruktur listrik kompleks.

Solusi Energi Konvensional:

- a) Biaya produksi, distribusi, dan pemeliharaan tinggi.
- b) Memerlukan jaringan transmisi dan pembangkit listrik besar.

3. **Ketergantungan pada Sumber Daya Alam:**

Nanogenerator:

- a) Menggunakan sumber daya terbarukan yang ada di lingkungan sekitar.
- b) Tidak menghasilkan emisi berbahaya.

Solusi Energi Konvensional:

- a. Bergantung pada bahan bakar fosil dan sumber daya alam terbatas.
- b. Menghasilkan polusi dan dampak lingkungan negatif.
- c. Skalabilitas dan Mobilitas:

1) Nanogenerator:

- a. Dapat ditempatkan di lokasi terpencil atau di mana saja dengan getaran atau gerakan.
- b. Skalabilitas mudah karena dapat diperbanyak.

2) Solusi Energi Konvensional:

- a. Terbatas oleh lokasi pembangkit dan distribusi.
- b. Tidak selalu mudah diperluas.
- c. Keberlanjutan dan Daur Ulang:

1) Nanogenerator:

- a. Mendukung keberlanjutan dengan memanfaatkan energi alam tanpa mengganggu lingkungan.
- b. Materialnya dapat didaur ulang.

2) Solusi Energi Konvensional:

- a. Menimbulkan dampak lingkungan jangka panjang.
- b. Sulit didaur ulang.

4.2.2. Berikut ada beberapa potensi kelebihan nanogenerator:

1. Kemandirian: Masyarakat di daerah terpencil dapat menghasilkan listrik sendiri.
2. Ramah Lingkungan: Tidak menghasilkan emisi dan memanfaatkan sumber daya alam.
3. Biaya Rendah: Produksi dan instalasi murah.
4. Peningkatan Kualitas Hidup: Penerangan dan konektivitas di daerah terpencil.
5. Peluang Kerja Lokal: Melibatkan masyarakat dalam perakitan dan pemeliharaan.

4.2.3. Ketahanan dan Keandalan nanogenerator:

1. Kemandirian Energi
 - a. Nanogenerator memungkinkan penghasilan energi secara mandiri tanpa perlu mengandalkan infrastruktur listrik yang mungkin tidak tersedia di daerah terpencil.
2. Skalabilitas
 - a. Nanogenerator dapat ditingkatkan sesuai dengan kebutuhan. Dalam daerah terpencil, kita dapat mengimplementasikan nanogenerator dalam skala yang sesuai dengan populasi dan permintaan energi setempat.
3. Ramah Lingkungan
 - a. Nanogenerator menggunakan sumber daya yang ada di sekitarnya, seperti gerakan atau tekanan, untuk menghasilkan listrik. Ini mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengurangi dampak lingkungan.
4. Fleksibilitas Desain
 - a. Nanogenerator dapat dirancang dalam berbagai bentuk dan ukuran. Ini memungkinkan penyesuaian dengan kondisi geografis dan lingkungan di daerah terpencil.

4.2.4. Aspek Sosial dan Ekonomi:

a. Dampak Sosial

Membuka lapangan kerja baru

Nanogenerator merupakan salah satu dari sumber energi terbarukan di masa yang akan datang. Maka dari itu, dibutuhkan tenaga kerja yang terampil untuk merancang, membangun, dan memasang peralatan. Selain itu diperlukan juga tenaga kerja untuk pemeliharaan rutin, hal ini termasuk perbaikan, inspeksi, dan penggantian komponen. Lalu dibutuhkan juga peneliti untuk melakukan pengembangan dan inovasi.

b. Dampak Ekonomi

1. Akses internet yang luas
 - a. Dengan akses internet yang luas, masyarakat di daerah terpencil dapat terhubung dengan pasar global, menjual produk dan layanan secara online, serta melakukan transaksi keuangan tanpa harus melakukan perjalanan ke kota besar, hal ini dapat menjadi dampak dari segi ekonomi yang besar bagi masyarakat di daerah terpencil.
2. Investasi dalam energi terbarukan
 - a. Investasi dalam energi terbarukan memiliki potensi imbal hasil yang menarik. Meskipun proyek energi terbarukan memerlukan modal besar, potensi keuntungannya juga signifikan. Menurut International Renewable Energy (IRENA), pada tahun 2050, manfaat yang didapatkan dari energi terbarukan bisa mencapai kurang lebih 142 triliun, yang dapat membantu meningkatkan Produk Domestik Bruto (PDB) dunia hingga 2,4%

4.2.5. Hambatan dan Tantangan:

1. Kondisi Lingkungan
 - a. Lingkungan di daerah terpencil dapat sangat berbeda, misalnya dapat berupa perubahan cuaca, kelembaban, dan suhu. Nanogenerator harus dirancang untuk tahan terhadap kondisi lingkungan yang beragam
2. Kesadaran dan Pendidikan
 - a. Kesadaran pengetahuan mengenai nanogenerator dan manfaatnya mungkin rendah di daerah terpencil. Pendidikan dan sosialisasi mengenai nanogenerator perlu dilakukan agar masyarakat memahami potensi teknologi
3. Biaya dan Keberlanjutan
 - a. Pengembangan nanogenerator memerlukan investasi awal. Di daerah terpencil, pertimbangan biaya dan keberlanjutan menjadi krusial. Maka dari itu solusi yang ekonomis dan berkelanjutan harus dipertimbangkan.

4.2.6. Rekomendasi untuk Pengembangan Selanjutnya:

Ada beberapa rekomendasi untuk pengembangan lanjutan untuk nanogenerator yang sudah kami rancang, diantaranya yaitu optimalisasi material, kami merekomendasikan hal ini dikarenakan jika bahan material yang sudah digunakan dalam nanogenerator seperti Zinc Oxide(ZnO) dilakukan penelitian lebih lanjut pada material ini, maka hal tersebut dapat meningkatkan efisiensi dan daya hasil nanogenerator. Selain optimalisasi material, kami juga merekomendasikan untuk mendesain struktur dari nanogenerator tersebut agar bisa lebih tahan terhadap perubahan suhu, guncangan, dan faktor-faktor lainnya, serta dapat membuat desain yang sesuai dengan kebutuhan.

BAB V PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Nanogenerator merupakan alat yang mampu menjadi energi alternatif bagi masyarakat di daerah terpencil agar dapat menghasilkan energi listrik mandiri yang efisien dan ramah lingkungan. Dalam laporan kali ini, kami menggunakan beberapa bahan utama seperti triboelektrik layer, piezoelektrik material, pyroelektrik material, dan kapasitor untuk membuat nanogenerator. Meskipun nanogenerator merupakan alat yang sangat menjanjikan bagi daerah terpencil, namun nanogenerator memiliki kelebihan dan juga kekurangan dalam mengoptimalkan efisiensi dan daya gunanya. Namun, dengan kolaborasi riset dan pendekatan lokal, peluang pengembangan nanogenerator di daerah terpencil akan semakin terbuka.

5.2. SARAN

1. Sebaiknya sebelum mengimplementasikan alat tersebut ke daerah-daerah terpencil, lakukanlah sosialisasi terlebih dahulu mengenai bagaimana cara kerja, cara mengelola, dan hal-hal mengenai nanogenerator itu sendiri. Hal ini dilakukan agar masyarakat dapat mengetahui dan paham mengenai alat yang ditempatkan di desanya. Oleh karena itu, dengan ditulisnya laporan penelitian.
2. Terus mengembangkan nanogenerator agar memiliki desain yang tahan banting di segala kondisi apapun

REFERENSI

- <http://analismedis.weebly.com/micro-dan-nano-technology.html> diakses pada tanggal 8 Desember 2023.
- Ren, Y., Zhang, D., Suo, J. *et al.* Hydroxamic acid pre-adsorption raises the efficiency of co-sensitized solar cells. *Nature* 613, 60–65 (2023).
- <https://lp2m.uma.ac.id/2021/11/08/teknologi-nano-definisi-dan-sejarahny/> diakses pada tanggal 8 Desember 2023
- <https://www.studocu.com/id/document/universitas-gunadarma/teknologi-proses-nano-dan-mikro/teknologi-proses-nano-dan-mikro/47215690> diakses pada tanggal 8 Desember 2023.
- <https://bakai.uma.ac.id/2022/03/14/pengertian-dan-contoh-penerapan-nanoteknologi/> diakses pada tanggal 9 Desember 2023.
- <https://www.panda.id/sistem-energi-desa/> diakses pada tanggal 9 Desember 2023.
- <https://link.springer.com/article/10.1007/s42114-023-00632-5> diakses pada tanggal 9 Desember 2023.
- Jiang Dawei.2023. "*Kemajuan dalam teknologi nanogenerator triboelektrik—aplikasi pada sensor bertenaga mandiri, Internet of Things, biomedis, dan energi biru*". Hangzhou. Springer.
- Zhu, Y., Zhao, Y., Hou, L., & Zhang, P. (2022). A Wind-Driven Rotating Micro-Hybrid Nanogenerator for Powering Environmental Monitoring Devices. *Micromachines*, 13(12), 2023.
- <https://phys.org/news/2022-08-scientists-power-output-triboelectric-nanogenerators.html> diakses pada tanggal 14 Desember 2023.
- <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2021/na/d1na00501d> diakses pada tanggal 15 Desember 2023.
- Zhang Jin.2021. "*Perkembangan terkini nanogenerator piezo-triboelektrik hibrida untuk sensor fleksibel dan pemanen energi*". Sydney:Royal Society of Chemistry.
- Hagfeldt Anders.2023. "*Perkembangan terkini nanogenerator piezo-triboelektrik hibrida untuk sensor fleksibel dan pemanen energi*". Sydney:Royal Society of Chemistry.
- Jiang, D., Lian, M., Xu, M., Sun, Q., Xu, B. B., Thabet, H. K., & Guo, Z. (2023). "*Advances in triboelectric nanogenerator technology—applications in self-powered sensors, Internet of things, biomedicine, and blue energy. Advanced Composites and Hybrid Materials*". Beijing:Springer.
- Wang, Z. L.(2019). *Theories for triboelectric nanogenerators: A comprehensive review. Nano-Structures & Nano-Objects*. Berlin:De Gruyter.
- Aben Dimaral.2021. "*Meningkatkan Output Listrik Nanogenerator Piezoelektrik dengan Mengontrol Konstanta Dielektrik Komposit ZnO/PDMS*". Basel:MDPI.
- Biswajit Mahanty.2021. "*Nanogenerator piro-elektrik dan piezo-elektrik serbaguna untuk pemantauan layanan kesehatan mandiri berbasis IoT*". London:royal society of chemistry.
- Yong Qin.2017. "*Kajian teoritis untuk meningkatkan daya keluaran nanogenerator piezoelektrik dengan mengoptimalkan bentuk gaya luar*". Washington:APL Materials.