

**PENGARUH WARNA CAHAYA DAYA RENDAH TERHADAP PRODUKSI
HIDROGEN DENGAN FOTOKATALIS NANO PARTIKEL GERABAH**

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



ADAM HUBERT
NIM. 175060200111016

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG

2021



LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH WARNA CAHAYA DAYA RENDAH TERHADAP
PRODUKSI HIDROGEN DENGAN FOTOKATALIS NANO
PARTIKEL GERABAH**

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik



**ADAM HUBERT
NIM. 175060200111016**

Skripsi telah direvisi dan disetujui oleh Dosen Pembimbing
pada tanggal 26 Juli 2021

Dosen Pembimbing



Prof. Ir. I.N.G. Wardana, M.Eng., Ph.D.
NIP. 19590703 198303 1 002

**Mengetahui
Ketua Program Studi Sarjana,**



Dr.Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.
NIP. 19740930 200012 1 001

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Malang, 26 Juli 2021

Mahasiswa,



Adam Hubert

NIM. 175060200111016



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA**



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 867/UN10.F07.12.11/PP/2021

Sertifikat ini diberikan kepada :

ADAM HUBERT

Dengan Judul Skripsi :

**PENGARUH WARNA CAHAYA DAYA RENDAH TERHADAP PRODUKSI HIDROGEN
DENGAN FOTOKATALIS NANO PARTIKEL GERABAH**

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal



Prof. DJARDI B. DARMADI, Ir., MT., Ph.D
NIP. 19670518 199412 1 001

Malang, 9 Agustus 2021

Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin

MEGA NUR SASONGKO, ST., MT., Dr. Eng
NIP. 19740930 200012 1 001

JUDUL SKRIPSI:

Pengaruh Warna Cahaya Daya Rendah Terhadap Produksi Hidrogen Dengan Fotokatalis Nano Partikel Gerabah

Nama Mahasiswa : Adam Hubert

NIM : 175060200111016

Program Studi : Teknik Mesin

Konsentrasi : Teknik Konversi Energi

KOMISI PEMBIMBING

Pembimbing : Prof. Ir. I.N.G. Wardana, M.Eng., Ph.D.

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji 1 : Ir. Tjuk Oerbandono, MSc.CSE.

Dosen Penguji 2 : Dr.Eng. Widya Wijayanti, ST., MT.

Dosen Penguji 3 : Dr.Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.

Tanggal Ujian : 15 Juli 2021

SK Penguji : 1231/UN10.F07/SK/2021



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	1
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
RINGKASAN	xi
SUMMARY	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Sebelumnya	5
2.2 Air	6
2.2.1 Hidrogen	8
2.2.2 Oksigen	8
2.3 Metode Produksi Hidrogen dengan Fotokatalisis	9
2.3.1 Fotokatalis	11
2.4 Cahaya	11
2.5 Pita Energi	13
2.5.1 Semikonduktor	15
2.6 Gerabah	16
2.6.1 Struktur Tanah Liat	16
2.6.2 Kaolin	17
2.6.3 Monmorilonit	18
2.7 Kerangka Konsep Penelitian	20
2.8 Hipotesis	20
BAB III METODE PENELITIAN	21
3.1 Metode Penelitian	21
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	21



3.3	Variabel Penelitian	21
3.4	Alat-alat dan Bahan-bahan Penelitian.....	22
3.4.1	Alat-alat Penelitian	22
3.4.2	Bahan-bahan Penelitian	29
3.5	Skema Instalasi Alat Penelitian	30
3.6	Prosedur Pengambilan Data	30
3.7	Diagram Alir Penelitian	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		33
4.1	Hasil Pengamatan pada Partikel Gerabah.....	33
4.1.1	Hasil Pengujian <i>SEM-EDS</i>	33
4.1.2	Hasil Pengujian UV-Vis <i>Spectrophometer</i>	35
4.2	Pengujian Fotokatalis Gerabah	36
4.2.1	Endapan Partikel	36
4.2.2	Pengaruh Variasi Warna Cahaya terhadap Produksi Hidrogen	37
4.2.3	Pengaruh Suhu dan PH pada Fotokatalis Gerabah.....	40
4.2.4	Pengaruh Perbedaan Katalis terhadap Hasil Produksi Gas Hidrogen.....	41
BAB V PENUTUP		43
5.1	Kesimpulan	43
5.2	Saran.....	43
DAFTAR PUSTAKA		45
LAMPIRAN		47

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Detail Warna pada Spektrum Cahaya Tampak	13
Tabel 4.1	Kandungan Gerabah	35





Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Ikatan Hidrogen pada Air.....	7
Gambar 2.2	Struktur Atom Oksigen.....	8
Gambar 2.3	Struktur Atom Oksigen.....	9
Gambar 2.4	Mekanisme Fotokatalisis.....	10
Gambar 2.5	Spektrum Elektromagnetik.....	12
Gambar 2.6	Teori Pita Energi.....	13
Gambar 2.7	Perbedaan Celah Energi Antara Konduktor, Semikonduktor, dan Isolator.....	14
Gambar 2.8	(a) Lapisan Silika, (b) Lapisan Gibbsite.....	17
Gambar 2.9	Struktur Kaolin (a) Tampak, Menunjukkan Cincin Heksagonal, (b) Elevasi Depan.....	18
Gambar 2.10	Struktur <i>Pyrophyllite</i> dan <i>Talc</i>	19
Gambar 2.11	Representasi Skema dari Montmorillonit.....	19
Gambar 2.12	Proses Fotokatalisis.....	20
Gambar 3.1	Timbangan Digital Portabel.....	22
Gambar 3.2	Sensor Gas Hidrogen MQ-8.....	23
Gambar 3.3	Arduino Uno R3.....	23
Gambar 3.4	Reaktor.....	23
Gambar 3.5	Laptop.....	24
Gambar 3.6	Lampu Halogen.....	24
Gambar 3.7	Plastik Mika.....	25
Gambar 3.8	Adaptor.....	25
Gambar 3.9	<i>Milling</i>	26
Gambar 3.10	<i>SEM-EDS</i>	27
Gambar 3.11	<i>UV-Vis Spectrophotometer</i> Specord 200 Plus.....	27
Gambar 3.12	PH Meter.....	28
Gambar 3.13	Termometer.....	28
Gambar 3.14	Air / Aquades.....	29
Gambar 3.15	Gerabah.....	29
Gambar 3.16	Instalasi Alat Penelitian.....	30
Gambar 3.17	Diagram alir penelitian.....	32
Gambar 4.1	(a) Hasil <i>SEM</i> Partikel Gerabah, (b) Hasil Olahan Gambar dengan <i>ImageJ</i> 33	
Gambar 4.2	Distribusi Ukuran Partikel Gerabah.....	34

Gambar 4.3	(a) Area Observasi, (b) Plot Permukaan 3D.....	34
Gambar 4.4	Hasil Pengujian EDS	35
Gambar 4.5	Hasil Pengujian UV-Vis <i>Spectrophotometer</i>	35
Gambar 4.6	Produksi Hidrogen dengan Endapan dan Tanpa Endapan.....	37
Gambar 4.7	Percobaan masing-masing Warna pada 25 PPM Konsentrasi Gerabah sebanyak 3 Kali	37
Gambar 4.8	Produksi Rata-Rata Hidrogen masing-masing Warna terhadap Waktu pada 25 PPM Konsentrasi Gerabah.....	38
Gambar 4.9	Percobaan masing-masing Warna pada 50 PPM Konsentrasi Gerabah sebanyak 3 Kali	38
Gambar 4.10	Produksi Rata-Rata Hidrogen masing-masing Warna terhadap Waktu pada 25 PPM Konsentrasi Gerabah.....	38
Gambar 4.11	Spektrum Lampu Halogen pada Berbagai Suhu Warna.....	40
Gambar 4.12	Perubahan PH Selama Pengujian	40
Gambar 4.13	Perubahan Temperatur Selama Pengujian	41
Gambar 4.14	Hasil Produksi Hidrogen dengan Fotokatalis Nano Partikel Zeolit 25 PPM Daya Rendah dalam 3 Kali Percobaan	41
Gambar 4.15	Hasil Produksi Hidrogen dengan Fotokatalis Nano Partikel Zeolit 25 PPM Daya Rendah.....	42
Gambar 4.16	Hasil Pengujian UV-Vis <i>Spectrophotometer</i> Zeolit.....	42

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data hasil pengujian dengan fotokatalis 25 ppm.....	47
Lampiran 2 Data hasil pengujian dengan fotokatalis 50 ppm.....	50
Lampiran 3 <i>Source Code</i> Pemrograman Sensor MQ-8 di Arduino Uno R3.....	53
Lampiran 4 Hasil Uji <i>EDS</i>	59
Lampiran 5 Hasil Uji Spektrofotometer <i>UV-Vis</i>	60





Halaman ini sengaja dikosongkan

RINGKASAN

Adam Hubert, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juli 2021, *Pengaruh Warna Cahaya Daya Rendah Terhadap Produksi Hidrogen Dengan Fotokatalis Nano Partikel Gerabah*, Dosen Pembimbing: Prof. Ir. I.N.G. Wardana, M.Eng., Ph.D.

Peningkatan penggunaan teknologi berbahan bakar menyebabkan meningkatnya konsumsi bahan bakar fosil yang berdampak negatif pada lingkungan. Untuk mengatasinya, diperlukan energi alternatif, salah satunya adalah hidrogen. Fotokatalis merupakan salah satu proses untuk menghasilkan hidrogen dengan cara memberikan energi foton dari cahaya kepada material semikonduktor dalam air, dimana hal itu akan menyebabkan reaksi redoks dengan air sehingga akan menghasilkan hidrogen dan oksigen. Katalis yang digunakan adalah partikel gerabah karena mengandung Si dan Al yang merupakan semikonduktor dan mudah didapatkannya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh warna cahaya terhadap produksi hidrogen pada proses fotokatalis dan mengetahui jumlah penambahan katalis dengan nilai produktivitas hidrogen yang optimal dengan menggunakan gerabah. Cahaya yang digunakan adalah cahaya tampak yang memiliki variasi warna merah, orange, kuning, hijau, biru dan ungu yang memiliki rentang panjang gelombang cahaya mulai dari 400-700 nm. Panjang gelombang akan mempengaruhi energi yang dihasilkan untuk mengaktivasi *bandgap* yang dimiliki katalis nano partikel gerabah yang telah dihaluskan menggunakan mesin penggiling (*milling*) hingga didapatkan partikel berukuran nano (1-100 nm). Hasil penelitian menunjukkan bahwa panjang gelombang berbanding terbalik dengan energi foton yang dihasilkan. Dimana, semakin pendek panjang gelombang menyebabkan energi foton yang semakin tinggi. Energi foton yang semakin tinggi dapat mengaktifasi *bandgap* yang lebar dan elektron yang berpindah dari pita valensi ke pita konduksi semakin banyak. Hal ini menyebabkan semakin pendek gelombang cahaya yang diberikan, produksi gas hidrogen semakin meningkat. Namun, ada beberapa faktor lain yang mempengaruhi proses fotokatalisis. Intensitas cahaya dan katalis yang digunakan dapat mempengaruhi proses fotokatalisis ini karena intensitas cahaya mempengaruhi banyaknya energi foton yang diberikan tiap satuan waktunya dan katalis mempengaruhi penyerapan energi foton tiap satuan waktunya. Selain itu, partikel gerabah yang memiliki muatan permukaan negatif menyebabkan menurunnya hasil produksi hidrogen. Hal itu terjadi karena muatan negatif gerabah menarik ion H^+ yang dihasilkan dari pemisahan molekul air sehingga menyebabkan meningkatnya pH pada larutan.

Kata kunci: Produksi Hidrogen, Fotokatalis, Nano Partikel, Gerabah, Water Splitting



Halaman ini sengaja dikosongkan

SUMMARY

Adam Hubert, Departement of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, July 2021, *The Effect of Low-Power Light Color on Hydrogen Production with Pottery Clay Nano Particle Photocatalyst*, Advisor Lecturer : Prof. I.N.G Wardana, M.Eng., Ph.D.

The use of fuel technology encourages the increase in fossil fuels which have a negative impact on the environment. To overcome this, alternative energy is needed, one of which is hydrogen. Photocatalyst is a process to produce hydrogen by providing photon energy from light to a semiconductor material in air, where it will cause a redox reaction with air to produce hydrogen and oxygen. The catalyst used is earthenware particles because it contains Si and Al which are semiconductors and are easy to obtain. This study aims to determine the effect of light on hydrogen production in the photocatalyst process and to determine the amount of addition with optimal hydrogen productivity using earthenware. The light used is visible light which has variations in red, orange, yellow, green, blue and purple colors which have a wavelength range of light ranging from 400-700 nm. The wavelength will affect the energy produced to activate the band gap owned by the nano-catalyst of pottery particles that have been mashed using a milling machine to obtain nano-sized particles (1-100 nm). The results show that the wavelength is inversely related to the energy of the resulting photon. Where, the longer the wavelength, the higher the photon energy. The higher photon energy can activate a wide bandgap and more electrons will move from the valence band to the conduction band. This causes the shorter the wavelength of the given light, the production of hydrogen gas increases. However, there are several other factors that affect the photocatalytic process. The intensity of light and the catalyst that can be used can be used for this photocatalytic process because the intensity of light affects the amount of photon energy given per unit time and the catalyst affects the absorption of photon energy per unit time. In addition, earthenware particles that have a negative surface charge cause a decrease in hydrogen production. This is because the negative charge of the H⁺ pottery resulting from the separation of molecules causes the pH of the solution to occur.

Keywords: Hydrogen Production, Photocatalyst, Nanoparticles, Pottery Clay, Water Splitting



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan jumlah penggunaan teknologi berbahan bakar di dunia menyebabkan meningkatnya konsumsi bahan bakar. Hal ini dapat dilihat melalui jumlah konsumsi Energi Nasional telah mengalami peningkatan di Indonesia. Tercatat pada tahun 2017 total konsumsi energi final (tanpa biomasa tradisional) sekitar 110,5 miliar TOE (Tonnes Oil Equivalent) dimana sektor transportasi merupakan pengguna terbesar kemudian disusul industri, rumah tangga, komersial dan sektor lainnya (pertanian, konstruksi dan pertambangan) (Kementrian ESDM, 2018) dan pada tahun 2018 mengalami peningkatan menjadi sekitar 114 miliar TOE (Tonnes Oil Equivalent) terdiri dari sektor transportasi 40%, kemudian industri 36%, rumah tangga 16%, komersial dan sector lainnya masing-masing 6% dan 2% (Kementrian ESDM, 2019). Dengan data tersebut dapat dikatakan semakin meningkatnya jumlah konsumsi energi final maka jumlah konsumsi bahan bakar fosil semakin meningkat. Hal ini berbanding terbalik dengan ketersediaan bahan bakar fosil yang semakin menurun. Tercatat produksi minyak bumi selama 10 tahun terakhir menunjukkan kecenderungan menurun, dari 346 juta barel pada tahun 2009 menjadi sekitar 283 juta barel di tahun 2018 (Kementrian ESDM, 2019). Selain itu bahan bakar fosil menyebabkan efek pencemaran lingkungan yaitu polusi.

Melalui permasalahan tersebut diperlukan solusi bahan bakar alternatif yang dapat menggantikan bahan bakar fosil, dimana ketersediaan bahan bakar fosil semakin menipis dan menyebabkan pencemaran lingkungan. Berbagai macam bahan bakar alternatif telah dikembangkan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Salah satu bahan bakar alternatif adalah hidrogen.

Hidrogen adalah unsur yang paling ringan dan paling melimpah di alam semesta. Hidrogen yang murni sangat sulit ditemukan di bumi, namun kita dapat menemukannya dengan mudah di sekitar kita dalam bentuk senyawa, terutama air (H_2O). Hidrogen juga bisa bersumber dari bahan tidak ramah lingkungan seperti berasal dari bahan bakar fosil hidrokarbon yang tidak ramah lingkungan dan ada juga ramah lingkungan dari *water splitting* dimana *water splitting* adalah reaksi kimia dimana air dipecah menjadi oksigen dan hidrogen dan dari biomassa dengan katalis yang juga ramah lingkungan yang disebut

green hydrogen. Ada juga yang kurang ramah lingkungan walaupun bahan dasarnya ramah lingkungan tapi katalisnya tidak ramah lingkungan.

Green hydrogen diproduksi menggunakan energi terbarukan dan elektrolisis untuk memisahkan air dan berbeda dengan *grey hydrogen*, yang dihasilkan dari metana dan melepaskan gas rumah kaca ke atmosfer, dan *blue hydrogen*, yang menangkap emisi tersebut dan menyimpannya di bawah tanah untuk mencegah perubahan iklim.

Metode seperti pemisahan air fotokatalitik sedang diteliti untuk menghasilkan hidrogen, bahan bakar dengan pembakaran bersih. Pemisahan air memberikan harapan khusus karena menggunakan air, sumber daya terbarukan yang tidak mahal. Pemisahan air fotokatalitik memiliki kesederhanaan menggunakan katalis dan sinar matahari untuk menghasilkan hidrogen dari air. Pemisahan air fotokatalitik adalah proses fotosintesis buatan dengan fotokatalisis dalam sel fotoelektrokimia yang digunakan untuk pemisahan air menjadi bagian-bagian penyusunnya, hidrogen (H_2) dan oksigen (O_2), baik menggunakan cahaya buatan maupun cahaya alami. Secara teoritis, hanya energi cahaya (foton), air, dan katalis yang dibutuhkan.

Pada penelitian kali ini akan digunakan fotokatalis nano partikel gerabah untuk meningkatkan nilai efisiensi produksi hidrogen pada berbagai warna cahaya yang mengganggu keseimbangan ikatan pada molekul air sehingga dapat memutus ikatan tersebut. Fotokatalis gerabah berasal dari bahan organik lokal yang berasal dari tanah liat yang kaya dengan silika dan alumina.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka didapatkan rumusan masalah yaitu bagaimana pengaruh penambahan fotokatalis nano partikel gerabah terhadap produksi hidrogen pada berbagai warna cahaya dengan daya rendah

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian kali ini ditentukan untuk memfokuskan penelitian, diantaranya:

1. Reaksi kimia antara wadah dan gerabah selama proses fotokatalis dianggap tidak ada.
2. Jenis dan karakteristik gerabah yang dipakai di tiap pengujian dianggap sama.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penulisan yang ingin didapatkan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan nano partikel gerabah terhadap produksi hidrogen pada proses fotokatalis dengan variasi warna cahaya menggunakan daya lampu rendah dan mengetahui jumlah penambahan katalis dengan nilai produktivitas hidrogen yang optimal dengan menggunakan gerabah.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan memperoleh manfaat diantaranya:

1. Memperoleh bahan bakar alternatif hidrogen sebagai solusi atas permasalahan ketersediaan bahan bakar fosil yang semakin menurun.
2. Hasil penelitian diharapkan bisa menjadi referensi dalam pengembangan bahan bakar energi hidrogen yang lebih efisien dengan penambahan katalis nano partikel gerabah.
3. Hasil penelitian diharapkan bisa menjadi referensi dalam penelitian energi terbarukan hidrogen dengan proses fotokatalis.





Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian mengenai produksi hidrogen sudah pernah dilakukan. Dari penelitian yang dilakukan oleh Zong et al (2013) tentang produksi hidrogen fotokatalitik dalam sistem bebas logam mulia yang dikatalis oleh katalis molibdenum sulfida yang ditumbuhkan secara in situ mendapatkan hasil bahwa Kesimpulannya, katalis molibdenum sulfida yang dihasilkan melalui fotoreduksi in situ menunjukkan efisiensi tinggi untuk mengkatalisasi evolusi H_2 dalam sistem peka-pewarna organik bebas logam mulia. Konsep pertumbuhan in situ katalis evolusi hidrogen MoS_x menyarankan jalur baru untuk desain katalis hilang rendah untuk produksi H_2 fotokatalitik dalam sistem homogen. Upaya yang sedang berlangsung difokuskan pada modifikasi katalis molibdenum sulfida dengan unsur Co dan Ni menuju aktivitas katalitik yang ditingkatkan dan stabilitas jangka panjang dari peka.

Penelitian yang dilakukan oleh Lim et al (2013) tentang Efek fotokatalitik sinergis dari *co-doping* nitrogen dan niobium di TiO_2 untuk konversi redoks polutan air di bawah cahaya tampak disimpulkan bahwa TiO_2 yang didoping dengan elemen pengotor telah sering diteliti sebagai fotokatalis aktif cahaya tampak. Sebagai model sistem TiO_2 multidoped, penelitian ini memilih kombinasi dopan N dan Nb dan mendemonstrasikan efek sinergis doping simultan N dan Nb di TiO_2 untuk meningkatkan aktivitas fotokatalitik di bawah cahaya tampak dibandingkan dengan N- TiO_2 dan Nb- TiO_2 . Berbagai metode karakterisasi spektroskopi mengkonfirmasi ko-doping dan penyelidikan fotokatalitik dan fotoelektrokimia mengungkapkan bahwa TiO_2 yang didoping memiliki aktivitas tertinggi yang lebih tinggi daripada TiO_2 yang didoping tunggal (yaitu, N- TiO_2 dan Nb- TiO_2). Penyerapan cahaya tampak oleh (N, Nb)- TiO_2 secara signifikan lebih tinggi daripada sampel N- atau Nb- TiO_2 . Peningkatan aktivitas (N, Nb)- TiO_2 didemonstrasikan tidak hanya untuk fotooksidatif tetapi juga konversi fotoreduktif polutan air. (N, Nb) - TiO_2 lebih dimodifikasi daripada N- TiO_2 dan Nb- TiO_2 baik dalam penyerapan cahaya tampak dan struktur pita elektronik. Perhitungan DOS menunjukkan bahwa status celah tengah yang dibuat oleh dopan N dan Nb serta status Ti_3^+ berkontribusi pada peningkatan penyerapan cahaya tampak.

Penelitian yang dilakukan oleh Niu et al (2018) tentang fotokatalitik hidrogen sangat efisien pada fotokatalis CoS/TiO₂ dari larutan metanol berair disimpulkan bahwa katalis logam sulfida termodifikasi TiO₂ disintesis menggunakan metode hidrotermal. Ditemukan bahwa pembentukan H₂ pada CoS/TiO₂ jauh lebih efisien daripada pada ZnS/TiO₂ dan Bi₂S₃/TiO₂. Hasil penelitian menunjukkan bahwa CoS/TiO₂ memiliki aktivitas fotokatalitik terbaik pada reaksi produksi H₂ dan HCHO pada penyinaran lampu 300W Xe. Peningkatan aktivitas dapat dikaitkan dengan persimpangan intim yang terbentuk antara CoS dan TiO₂, yang dapat memfasilitasi transfer elektron dari TiO₂ ke CoS dan mengurangi rekombinasi lubang elektron. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa jumlah CoS yang sesuai dapat secara signifikan meningkatkan aktivitas fotokatalitik TiO₂ untuk produksi H₂ dan metanal. Hasil ini sesuai dengan sampel analisis SEM, yang menunjukkan sifat sangat terdispersi dari sampel 20 wt% CoS/TiO₂. Aktivitas fotokatalitik maksimum diperoleh sebesar 20% berat CoS/TiO₂, dengan laju pembentukan hidrogen 5,6 mmol/g/jam dan laju pembentukan HCHO 1,9 mmol/g/jam dengan selektivitas 98,7%. Selain itu, fotokatalis CoS/TiO₂ menunjukkan usabilitas dan stabilitas yang baik.

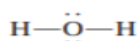
Penelitian yang dilakukan oleh Sofi'i et al (2020) tentang peran karbon aktif dalam meningkatkan aktivitas fotokatalis serbuk klitoria ternatea untuk produksi hidrogen disimpulkan bahwa fotokatalis yang menggabungkan *Activated Carbon* (AC) dan *Clitoria Ternatea Powder* (CTP) memiliki peran yang sangat signifikan dalam produksi hidrogen. Produksi hidrogen meningkat hampir tiga kali lipat dari CTP saja. AC terdiri dari grafena yang tidak sempurna sedangkan CTP terdiri dari cincin karbon aromatik. Ketika AC digabungkan dengan CTP, muatan listrik negatif di pori-pori AC menarik muatan positif dari gugus hidroksil di CTP yang selanjutnya memberi energi pada elektron yang terdelokalisasi dalam cincin aromatik yang meningkatkan aktivitas katalitik dua kali lebih banyak dari CTP dan meningkatkan produksi hidrogen empat kali lipat.

2.2 Air

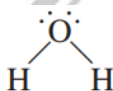
Air adalah anugerah alam yang paling berharga, indah dan berguna. Air adalah sumber daya alam yang paling melimpah dan penting. Air menutupi hampir 70% permukaan bumi. Hidrosfer diperkirakan mengandung sekitar 1360 juta kilometer kubik ($1,3 \times 10^{18} \text{ m}^3$) air. Dari jumlah tersebut, sekitar 97% berada di lautan dan laut pedalaman, dimana air tersebut tidak layak untuk dikonsumsi manusia karena kandungan garamnya yang tinggi. Dari 3% sisanya, 2% terkunci di gletser dan lapisan es kutub dan hanya 1% yang tersedia sebagai

air tawar di sungai, danau, sungai kecil, waduk dan air tanah, dimana air tersebut layak untuk dikonsumsi manusia (Agarwal, 2019).

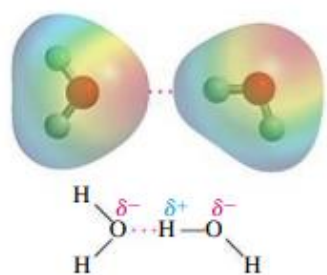
Air terdiri dari dua bagian hidrogen dan satu bagian oksigen. Rumus struktur air adalah H-O-H. Garis yang menghubungkan dua simbol atom melambangkan ikatan kimia. Molekul air mengandung dua pasang ikatan dan dua pasang mandiri (Chang & Overby, 2010):



Susunan keseluruhan empat pasang elektron dalam air adalah tetrahedral, sama seperti amonia. Namun, tidak seperti amonia, air memiliki dua pasang elektron bebas pada atom O pusat. Pasangan mandiri ini cenderung berada sejauh mungkin dari satu sama lain. Akibatnya, dua pasangan ikatan O-H didorong ke arah satu sama lain, dan memperkirakan deviasi yang lebih besar dari sudut tetrahedral daripada di NO_2 . Geometri H_2O adalah bengkok (Chang & Overby, 2010):



Di air, atom hidrogen terikat pada atom oksigen. Oksigen memiliki keelektronegatifan yang tinggi yang berarti ikatan tersebut memiliki polaritas yang tinggi. Fakta bahwa hidrogen adalah atom kecil juga berarti bahwa inti positifnya dapat mendekati atom oksigen pada molekul air di sekitarnya. Muatan positif parsial dari atom hidrogen kecil dan muatan negatif parsial oksigen menciptakan molekul yang sangat polar, yang menciptakan daya tarik yang kuat antara molekul air. Daya tarik yang kuat antara hidrogen dalam satu molekul air dan oksigen dalam molekul air lainnya disebut ikatan hidrogen. Ikatan hidrogen tidak hanya terjadi pada air, tetapi terjadi ketika hidrogen terikat pada atom oksigen, nitrogen, atau fluorin. Fakta bahwa hidrogen kecil ditambah dengan elektronegativitas oksigen, nitrogen, dan fluorin yang tinggi menyebabkan ikatan hidrogen (Myers, 2003). Struktur ikatan hidrogen pada air diilustrasikan pada Gambar 2.1.



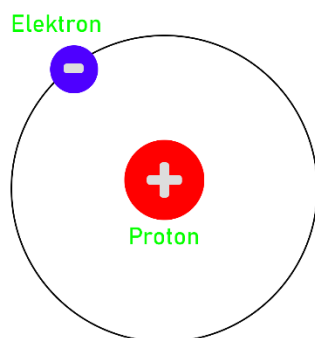
Gambar 2.1 Ikatan hidrogen pada air
Sumber: Petrucci et al. (2010)

2.2.1 Hidrogen

Hidrogen adalah elemen pertama dari tabel periodik dengan konfigurasi elektronik $1s^1$. Posisinya dalam tabel periodik adalah anomali. Ini menyerupai logam alkali dan halogen. Mirip dengan logam alkali, ia hanya memiliki satu elektron di kulit valensinya dan memiliki kecenderungan untuk kehilangan elektron dan membentuk ion H^+ . Ia menyerupai halogen (golongan 17) karena keduanya kekurangan satu elektron dari struktur gas mulia. Meskipun hidrogen biasanya tidak membentuk ion negatif, ia membentuk hidrida ionik M^+H^- (misalnya, LiH dan CaH_2) dengan unsur-unsur yang sangat elektropositif. Hidrogen juga memiliki kemiripan dengan unsur-unsur golongan 14, karena keduanya memiliki cangkang valensi yang terisi setengah (Agarwal, 2019).

Sifat fisik hidrogen adalah gas diatomik yang tidak berwarna, tidak berbau, tidak berasa, dan lebih ringan dari udara, memiliki rasio kepadatan hidrogen dan udara adalah 0,0695: 1, hidrogen sedikit larut dalam air dengan titik leleh - 253 ° C dan titik didih - 259 ° C pada satu tekanan atmosfer, hidrogen teradsorpsi pada permukaan logam seperti Pt, Pd dan Au. Proses ini disebut sebagai oklusi hidrogen. Sifat kimia hidrogen adalah hidrogen bereaksi dengan non-logam seperti O, S, N dan Cl untuk membentuk senyawa kovalen seperti H_2O , NH_3 dan HCl , logam bereaksi dengan hidrogen membentuk hidrida, hidrogen adalah zat pereduksi dan mereduksi oksida logam yang kurang elektronegatif seperti Cu, Zn, Pb dan Fe (Agarwal, 2019). Struktur atom hidrogen pada air diilustrasikan pada

Gambar 2.2.



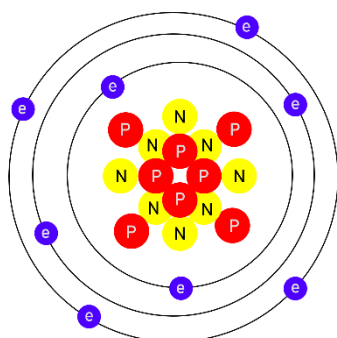
Gambar 2.2 Struktur atom hidrogen

2.2.2 Oksigen

Oksigen adalah unsur penyusun kerak bumi yang paling melimpah, 45,5% massa. Ini juga merupakan unsur paling melimpah di air laut, terhitung hampir 90% dari massa. Di atmosfer, kelimpahannya adalah yang kedua setelah nitrogen, terhitung 23,15% massa dan 21,04% volume. Meskipun diperoleh sampai batas tertentu dengan dekomposisi senyawa

yang mengandung oksigen dan elektrolisis air, sumber komersial utama oksigen adalah distilasi fraksional udara cair, yang juga menghasilkan nitrogen, argon, dan gas mulia lainnya (Petrucci et al, 2010).

Dalam ilmu kimia, oksigen dilambangkan dengan O dan memiliki nomor atom 8. Ada tiga isotop alami oksigen, yaitu oksigen-16 menyumbang 99,76% atom O, oksigen-17 hanya 0,04%, dan oksigen-18 0,2%. Karena oksigen-18 12% lebih berat dari oksigen 16, hal itu dapat mempengaruhi perilaku air di lingkungan. Pada suhu dan tekanan kamar, oksigen adalah gas yang tidak berwarna, tetapi berwarna biru pucat ketika dikondensasi menjadi cairan pada -183°C . Oksigen diatomik bersifat paramagnetik karena memiliki dua elektron yang tidak berpasangan. Alotrop oksigen, ozon (O_3), adalah gas diamagnetik biru dengan bau yang begitu kuat sehingga dapat dideteksi dalam konsentrasi serendah 0,05 ppm. Ozon disintesis dengan melewati O_2 melalui pelepasan listrik atau dengan menyinari O_2 dengan sinar ultraviolet (Kotz et al, 2012). Oksigen adalah unsur nonlogam dalam golongan VI A pada table periodik. Struktur atom oksigen diilustrasikan pada Gambar 2.3.



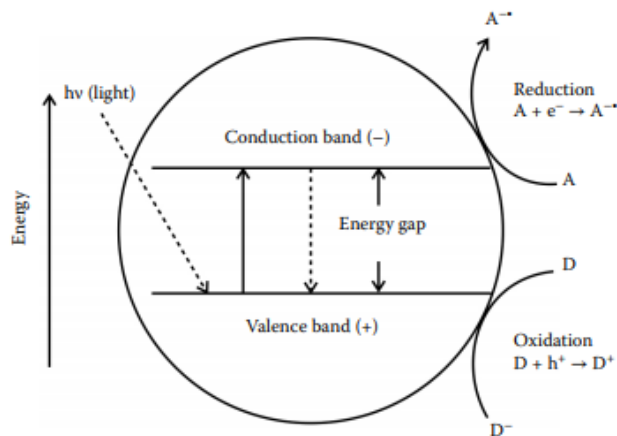
Gambar 2.3 Struktur atom oksigen

2.3 Metode Produksi Hidrogen dengan Fotokatalisis

Fotokatalisis adalah reaksi fotoinduksi yang dipercepat dengan adanya katalis. Ada dua jenis fotokatalisis yaitu homogen dan heterogen. Fotokatalisis homogen adalah ketika reaktan dan fotokatalis berada dalam fase yang sama reaksinya. Senyawa koordinasi, pewarna, pigmen alami, dan sebagainya adalah contoh fotokatalis homogen yang paling umum. Fotokatalisis heterogen adalah ketika reaktan dan fotokatalis berada dalam fase yang berbeda. Kalkogenida logam transisi adalah contoh paling umum dari fotokatalis heterogen, yang memiliki beberapa karakteristik unik.

Reaksi fotokatalitik dimulai dengan penyerapan foton dengan energi yang sesuai yang sama atau lebih tinggi dari energi celah pita dari fotokatalis. Foton yang diserap

menciptakan pemisahan muatan saat elektron dinaikkan dari pita valensi semikonduktor ke pita konduksi, menciptakan lubang/hole (h^+) di pita valensi. Elektron tereksitasi ini dapat mereduksi substrat atau bereaksi dengan akseptor elektron seperti O_2 yang ada pada permukaan semikonduktor atau dilarutkan dalam air, mereduksinya menjadi anion radikal superoksida O_2^- . Sebaliknya, lubang dapat mengoksidasi molekul organik menjadi R^+ , atau bereaksi dengan $-OH$ atau H_2O , mengoksidasi molekul organik menjadi radikal OH (Ameta et al., 2017). Mekanisme fotokatalisis dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Mekanisme fotokatalisis
Sumber: Ameta et al. (2017)

Pekerjaan perintis telah dilakukan oleh Fujishima dan Honda (1972) di bidang fotokatalisis. Mereka mengembangkan proses fotokatalitik dengan peningkatan efisiensi untuk produksi hidrogen dari air menggunakan energi matahari, tetapi masih menghadapi beberapa tantangan besar, meskipun bidang tersebut telah keluar dari masa pertumbuhan dan sekarang dianggap sebagai subjek yang dikembangkan. Fotokatalitik *water splitting* dianggap sebagai jalur penting untuk menghasilkan hidrogen sebagai energi terbarukan. Konversi energi foton menjadi hidrogen melalui proses *water splitting* yang dibantu oleh fotokatalis merupakan salah satu pendekatan yang paling menjanjikan untuk masa depan. Sejumlah besar hidrogen berpotensi dihasilkan dengan cara yang bersih dan berkelanjutan dari teknik ini (Ameta et al., 2017).

Secara umum, sistem semikonduktor yang digunakan dalam proses ini adalah sebagai berikut:

1. Konverter energi matahari yang efisien
2. Celah pita yang dioptimalkan untuk memaksimalkan pemanfaatan radiasi matahari
3. Stabilitas kimia yang cukup terhadap foto atau proses korosi lainnya

Pemisahan air fotokatalitik adalah proses fotosintesis buatan dengan fotokatalisis dalam sel fotokatalitik yang digunakan untuk disosiasi air menjadi bagian penyusunnya, hidrogen (H_2) dan oksigen (O_2), menggunakan cahaya buatan atau cahaya alami. Secara teoritis, hanya energi cahaya (foton), air, dan katalis yang dibutuhkan. Topik ini adalah fokus dari banyak penelitian, tetapi sejauh ini belum ada teknologi yang dikomersialkan.

Produksi bahan bakar hidrogen telah mendapatkan perhatian yang meningkat seiring dengan tumbuhnya pemahaman publik tentang pemanasan global. Metode seperti pemisahan air fotokatalitik sedang diselidiki untuk menghasilkan hidrogen, bahan bakar dengan pembakaran bersih. Pemisahan air memberikan harapan khusus karena menggunakan air, sumber daya terbarukan yang tidak mahal. Pemisahan air fotokatalitik memiliki kesederhanaan menggunakan katalis dan sinar matahari untuk menghasilkan hidrogen dari air.

2.3.1 Fotokatalis

Fotokatalis adalah bahan yang menyerap cahaya untuk membawanya tingkat energi ke yang lebih tinggi, dan memberikan energi tersebut untuk mereaksikan zat untuk reaksi kimia berlangsung. Ketika fotokatalis menyerap cahaya, lubang positif dibuat pada pita elektron valensi untuk bereaksi dengan elektron. Lubang positif fotokatalis bereaksi dengan air atau oksigen terlarut untuk menghasilkan radikal OH, yang menguraikan zat beracun. Radikal OH memiliki daya oksidasi yang lebih kuat daripada klorin atau ozon untuk sterilisasi atau desinfeksi. Oleh karena itu, komposit keramik multi fungsi dapat dibuat untuk mencapai tujuan spesifik tersebut. Partikel fotokatalis atau lapisan substrat dasar dapat dilapisi sebagian dengan apatit untuk membuat masing-masing bahan berfungsi secara individual (Oshida, 2007).

2.4 Cahaya

Cahaya adalah bentuk gelombang elektromagnetik frekuensi tinggi dan energi gelombang cahaya hadir dalam partikel yang disebut foton. Menurut teori Einstein, energi foton sebanding dengan frekuensi gelombang elektromagnetik (Serway & Jewett, 2014):

$$E = nhf \quad \dots \dots \dots (2.1)$$

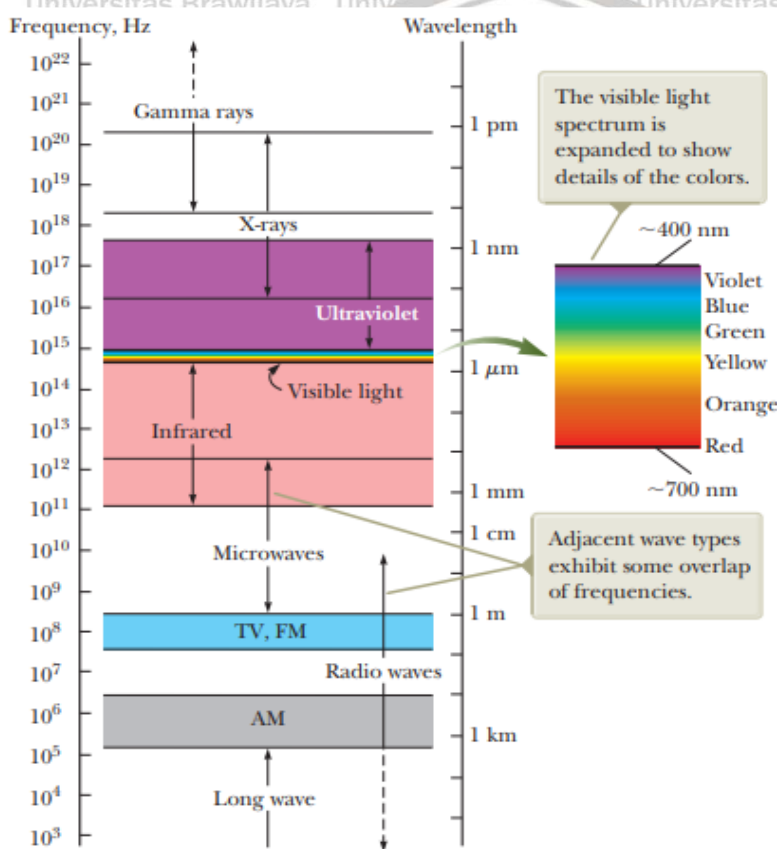
Dimana:

n = Jumlah Foton

f = Frekuensi cahaya (s^{-1})

h = Konstanta plank (6.63×10^{-34} J.s)

Cahaya juga didefinisikan sebagai radiasi elektromagnetik yang memiliki gelombang elektromagnetik. Berbagai jenis gelombang elektromagnetik yaitu gelombang radio, gelombang mikro, gelombang inframerah, cahaya tampak, gelombang ultraviolet, sinar-X, sinar gamma, pada Gambar 2.5 menunjukkan spektrum elektromagnetik. Nama-nama yang diberikan untuk jenis gelombang hanyalah cara mudah untuk menggambarkan wilayah spektrum di mana mereka berada (Serway & Jewett, 2014).



Gambar 2.5 Spektrum elektromagnetik

Sumber: Serway & Jewett (2014)

Cahaya tampak adalah bentuk paling umum dari gelombang elektromagnetik dimana cahaya tampak merupakan bagian dari spektrum elektromagnetik yang dapat dideteksi oleh mata manusia. Cahaya dihasilkan oleh penataan ulang elektron dalam atom dan molekul. Berbagai panjang gelombang cahaya tampak, yang sesuai dengan warna yang berbeda, berkisar dari merah (Panjang gelombang 700nm) sampai ungu (Panjang gelombang 400nm). Tabel 2.1 menunjukkan detail warna pada spektrum cahaya tampak.

Tabel 2.1

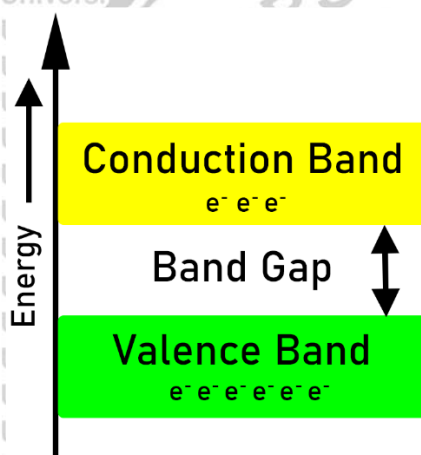
Detail Warna pada Spektrum Cahaya Tampak

Wavelength range (nm)	Color
400 – 430 nm	Violet
430 – 480 nm	Blue
480 – 560 nm	Green
560 – 590 nm	Yellow
590 – 620 nm	Orange
620 – 700 nm	Red

Sumber: Zwinkels (2015)

2.5 Pita Energi

Menurut teori Bohr, setiap cangkang dari atom mencakup jumlah energi yang terpisah pada tingkat yang berbeda. Teori ini terutama memberikan perincian tentang komunikasi elektron di antara kulit dalam dan kulit luar. Menurut teori pita energi, pita energi diklasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu, pita valensi, celah energi terlarang, pita konduksi dimana dideskripsikan seperti Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Teori pita energi

1. Pita Valensi (*Valence Band*)

Elektron pada kulit terluar disebut elektron valensi. Elektron valensi ini mengandung serangkaian tingkat energi dan membentuk pita energi yang dikenal sebagai pita valensi. Pita valensi memiliki energi yang diduduki tertinggi.

2. Celah Energi Terlarang (*Band Gap*)

Celah terlarang adalah celah antara pita konduksi dan pita valensi. Pita ini adalah pita terlarang tanpa energi. Karenanya tidak ada aliran elektron dalam pita ini. Aliran elektron dari valensi ke konduksi akan melewati celah ini. Jika celah ini lebih besar, maka elektron dalam pita valensi terikat kuat ke arah nukleus. Saat ini, untuk mengusir

elektron dari pita ini, diperlukan sedikit gaya luar, yang setara dengan kesenjangan energi terlarang.

3. Pita Konduksi (*Conduction Band*)

Elektron valensi tidak terikat erat pada nukleus karena beberapa elektron valensi ini meninggalkan orbit terluar bahkan pada suhu kamar dan menjadi elektron bebas.

Elektron bebas menghantarkan arus dalam konduktor dan oleh karena itu dikenal sebagai elektron konduksi. Pita konduksi adalah pita yang mengandung elektron konduksi dan memiliki tingkat energi yang ditempati terendah.

Pita energi memiliki perbedaan berdasarkan jenis bahannya seperti pada Gambar 2.7, yaitu:

1. Konduktor

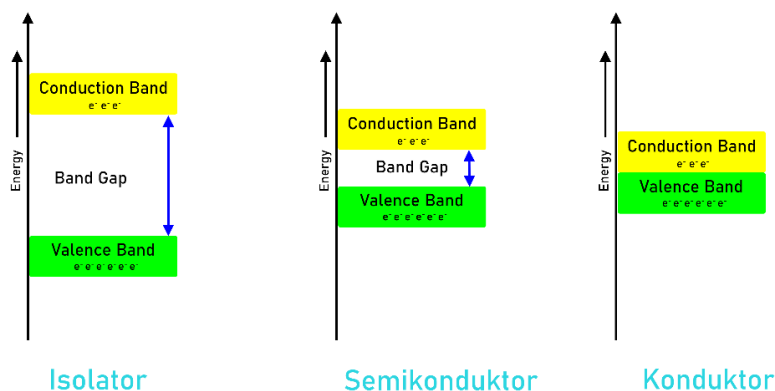
Pada material jenis konduktor tidak ada celah terlarang antara pita valensi dan pita konduksi yang mengakibatkan tumpang tindih kedua pita. Jumlah elektron bebas yang tersedia besar pada suhu kamar.

2. Isolator

Material jenis isolator tidak memungkinkan listrik melewatinya. Material ini memiliki resistivitas tinggi dan konduktivitas yang sangat rendah. Celah energi pada isolator sangat tinggi, sehingga materi tidak dapat menghantarkan karena perpindahan electron dari pita valensi ke pita konduksi tidak mungkin terjadi.

3. Semikonduktor

Material jenis semikonduktor memiliki kondisi dimana pita konduksi kosong dan pita valensi terisi penuh tetapi celah energi antara kedua pita sangat kecil sehingga tidak memerlukan energi yang besar untuk memindahkan elektron.



Gambar 2.7 Perbedaan celah energi antara konduktor, semikonduktor, dan isolator

2.5.1 Semikonduktor

Semikonduktor dapat dibedakan dari bahan lain dengan sejumlah sifat fisik, salah satu yang paling penting adalah resistivitas listrik ρ atau kesulitan arus listrik dapat melewati bahan di bawah pengaruh medan listrik. Bahan dapat diklasifikasikan ke dalam tiga kategori, yaitu isolator, yang resistivitasnya sangat tinggi, lalu logam, yang resistivitasnya sangat rendah dan semikonduktor, yang resistivitasnya bernilai menengah dan sangat bergantung pada suhu (Balkanski et al, 2000). Sejumlah aspek lain dari sifat listrik semikonduktor harus disebutkan:

1. Perilaku *non-ohmic* dan efek *rectifying*
2. Efek pengotor besar
3. Pembawa muatan positif dan negative
4. Daya termoelektrik tinggi
5. Sensitivitas terhadap produksi cahaya fotovoltase dan perubahan resistansi

Dalam fisika *solid-state*, semikonduktor biasanya didefinisikan sebagai bahan dengan resistivitas listrik terletak di kisaran $10^{-2} - 10^9 \Omega \text{ cm}$. Atau, dapat didefinisikan sebagai bahan yang celah energi untuk eksitasi elektronik terletak antara nol dan sekitar 4 elektron volt (eV). Bahan dengan celah pita nol adalah logam atau semilogam, sedangkan bahan dengan celah energi lebih besar dari 3 eV lebih sering dikenal sebagai isolator. Ada pengecualian untuk definisi ini. Misalnya, istilah seperti berlian semikonduktor (yang celah energinya sekitar 6 eV) dan GaAs semi-isolasi (dengan celah energi 1,5 eV) sering digunakan. GaN, yang mendapat banyak perhatian sebagai bahan optoelektronik di wilayah biru, memiliki celah 3,5 eV. (Yu et al, 2010)

Semikonduktor yang paling terkenal adalah elemen Si. Bersama dengan germanium (Ge), itu adalah prototipe kelas besar semikonduktor dengan struktur kristal serupa. Struktur kristal Si dan Ge sama dengan intan dan α -timah (semikonduktor celah nol juga dikenal sebagai timah “abu-abu”). Dalam struktur ini setiap atom dikelilingi oleh empat atom tetangga terdekat (setiap atom dikatakan terkoordinasi empat kali lipat), membentuk tetrahedron. Semikonduktor berikat tetrahedral ini membentuk andalan industri elektronik dan landasan teknologi modern. (Balkanski et al, 2000)

Daftar senyawa yang merupakan semikonduktor sangat besar. Ini termasuk senyawa III-V, yang terbentuk dari unsur golongan III dan golongan V, seperti GaAs dan InSb. Senyawa II-VI seperti CdS, CdSe, dan ZnSe; senyawa III-VI seperti GaS dan InSe dan senyawa IV-VI seperti PbS dan PbTe. Banyak senyawa terner seperti CuFeS_2

(*chalcopyrite*) juga merupakan semikonduktor. Senyawa organik yang bersifat semikonduktor antara lain antrasena, $C_{14}H_{10}$, dan poliasetilen, $(CH)_x$.

Banyak sifat semikonduktor yang secara drastis dimodifikasi oleh adanya pengotor. Dalam silikon, misalnya, sifat listrik dan optik dapat diubah secara signifikan dengan penambahan pengotor seperti boron atau arsenik. Proses penambahan pengotor yang diketahui secara sengaja dengan cara yang terkontrol dikenal sebagai doping. Dalam semikonduktor senyawa, penyimpangan dari stoikiometri dapat mempengaruhi sifat mereka. (Yu et al, 2010)

2.6 Gerabah

Gerabah adalah bahan yang terbuat dari tanah liat. Mineral tanah liat baru-baru ini menjadi salah satu bahan yang paling banyak digunakan di banyak bidang penelitian dan pengembangan. Mineral tanah liat sangat baik sebagai penyerapan dan bahan adsorpsi.

Lapisan tanah liat terbentuk dari lembaran tetrahedral di mana atom silikon dikelilingi oleh empat atom oksigen dan lembaran oktahedral di mana logam seperti aluminium atau magnesium dikelilingi oleh delapan atom oksigen. Lembaran tetrahedral (T) dan oktahedral (O) diikat oleh atom oksigen. Atom oksigen yang tidak digunakan bersama hadir dalam bentuk hidroksil. (Nascimento, 2016)

2.6.1 Struktur Tanah Liat

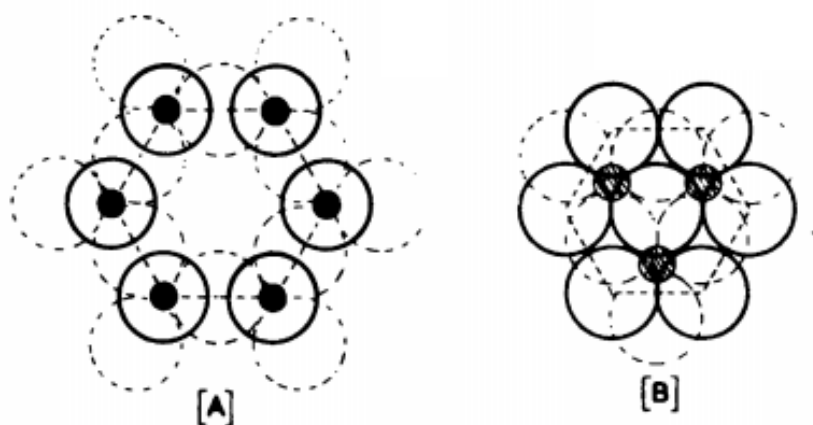
Ada dua kelompok utama mineral lempung, yaitu kaolin dan montmorillonit. Kaolin memiliki rumus empiris $Al_2Si_2O_5(OH)_4$, dan montmorillonit dapat diturunkan dari rumus $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$, seperti yang dijelaskan kemudian. Kelompok kaolin termasuk kaolinit, nacrite, dickite dan halloysite, halloysite juga dapat ada dalam bentuk terhidrasi yang memiliki rumus $Al_2Si_2O_5(OH)_4 \cdot 2H_2O$. Dari semua ini, sejauh ini yang paling penting adalah kaolinit, karena merupakan penyusun utama dari lempung cina, lempung bola, lempung api, dan banyak lempung bata. (Worrall, 1982)

Dua susunan utama lapisan tetrahedral (T) dan oktahedral (O) juga dapat diamati di sebagian besar tanah liat. Satu tetrahedral menyatu dengan satu oktahedral (1:1) dikenal sebagai kelompok kaolin, dengan komposisi umum $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ dan memiliki ketebalan lapisan ~0,7 nm. Phyllosilicates dibentuk oleh satu lembar oktahedral terikat antara dua lembar tetrahedral (2:1) dengan ketebalan total 0,94 nm. Ketika kation aluminium pada lapisan oktahedral sebagian tersubstitusi oleh magnesium divalen atau kation besi, kelompok lempung smektit terbentuk, yang strukturnya terdiri dari lembaran pusat yang

mengandung kelompok $\text{MO}_4(\text{OH})_2$ simetri oktahedral yang terkait dengan dua lembaran tetrahedral (MO_4) memproduksi lapisan yang ditunjuk sebagai T:O:T. Oktahedral ditempati oleh ion aluminium, besi dan magnesium, sedangkan pusat menampung tetrahedron ion silikon dan aluminium. Muatan negatif dari lamela T:O:T dinetralkan oleh kation alkalin terhidrasi yang dapat ditukar dengan spesies kationik lainnya. Terutama, lempung smektit menunjukkan adsorpsi permukaan dan aktivitas katalitik dalam reaksi organik. (Nascimento, 2016)

2.6.2 Kaolin

Semua mineral kaolin memiliki fitur struktural dasar yang sama: mereka terdiri dari lapisan atom Si-O, disebut sebagai lapisan silika atau tetrahedral, bergabung dengan atom yang sama ke lapisan atom Al-O yang serupa, yang disebut gibbsite atau lapisan oktahedral. Susunan atom dalam dua lapisan ini masing-masing ditunjukkan pada Gambar 2.8 (a) dan 2.8 (b).



Gambar 2.8 (a) Lapisan silika, (b) Lapisan gibbsite
Sumber: Worrall (1982)

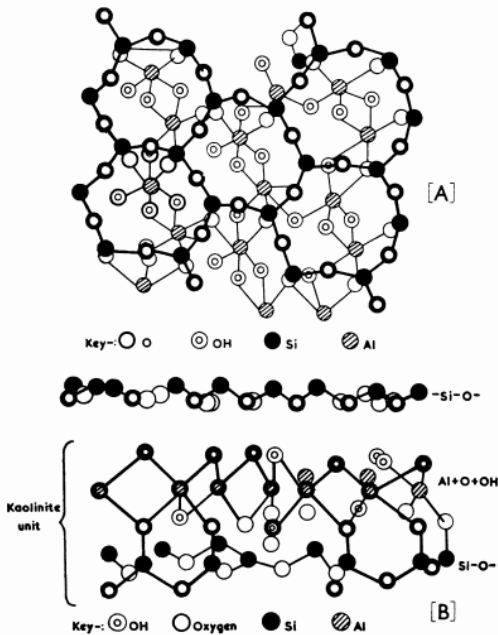
Pada lapisan silika pada Gambar 2.8 (a) atom Si dan dihubungkan untuk membentuk cincin beranggota enam, mirip dengan yang ada di kristobalit dan tridimit. Atom Si, seperti biasa, dalam koordinasi empat kali lipat dengan O, dan simpul dari semua silika tetrahedra mengarah ke atas. (Worrall, 1982)

Pada lapisan gibbsite pada Gambar 2.8 (b), atom Al berada dalam koordinasi enam kali lipat dengan (atau OH), tetapi atom , yang ditarik dalam garis tak terputus, membentuk cincin heksagonal dengan ukuran yang kira-kira sama dengan heksagonal Si-O. cincin. Oleh karena itu kedua lapisan tersebut, jika ditumpangkan, "cocok" hampir persis,

membentuk lapisan senyawa dengan atom, yang disebut sebagai atom "umum", membentuk hubungan di antara keduanya. (Worrall, 1982)

Rumus rata-rata cincin Si-O adalah Si_2O_3 dan lapisan gibbsite adalah $\text{Al}_2(\text{OH})_4\text{O}_2$. Jika cincin-cincin ini bergabung dengan dua atom membentuk "jembatan", kita sampai pada rumus komposit $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$, yang merupakan rumus dasar dari semua mineral kaolin.

Struktur kaolin dapat dilihat pada Gambar 2.9.



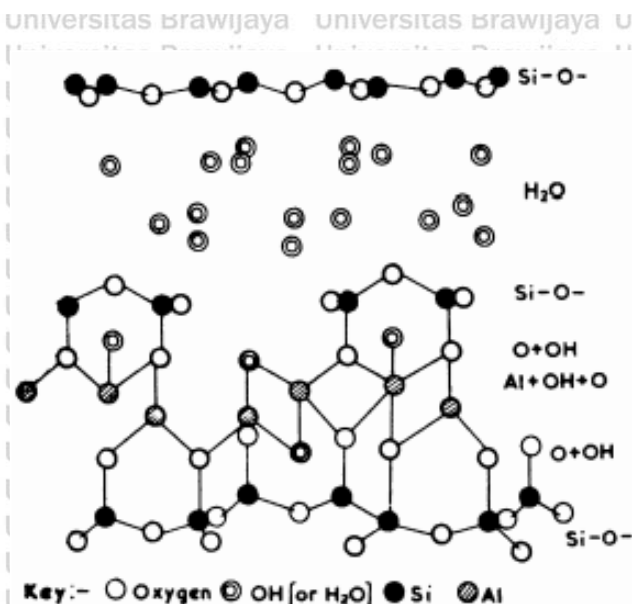
Gambar 2.9 Struktur Kaolin (a) Tampak, menunjukkan cincin heksagonal. (b) elevasi depan.

Sumber: Worrall (1982)

2.6.3 Monmorilonit

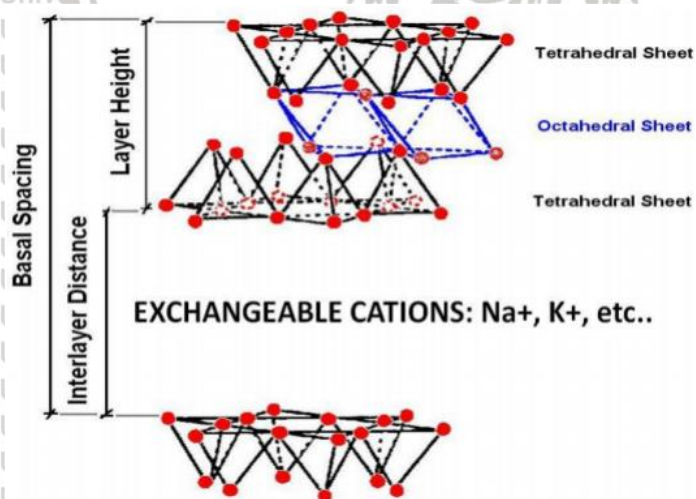
Alih-alih satu lapisan gibbsite dikondensasikan dengan satu lapisan silika, jelas mungkin dua lapisan silika dikondensasi dengan satu lapisan gibbsite, yang terakhir kehilangan dua gugus hidroksilnya dalam proses. Rumusnya adalah $\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$, mineral *Pyrophyllite*. Sekarang dengan cara yang persis sama juga memungkinkan lapisan magnesia atau brucite, $\text{Mg}(\text{OH})_2$, dikondensasikan dengan dua lapisan silika dalam hal ini rumusnya adalah $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$, dan mineralnya adalah *talca*. *Pyrophyllite* dan *talca* dapat dianggap sebagai zat "induk" dari mana semua anggota kelompok montmorillonit berasal.

Struktur *Pyrophyllite* dan *talca* dapat dilihat pada Gambar 2.10. (Worrall, 1982)



Gambar 2.10 Struktur *pyrophyllite* dan *talc*
Sumber: Worrall (1982)

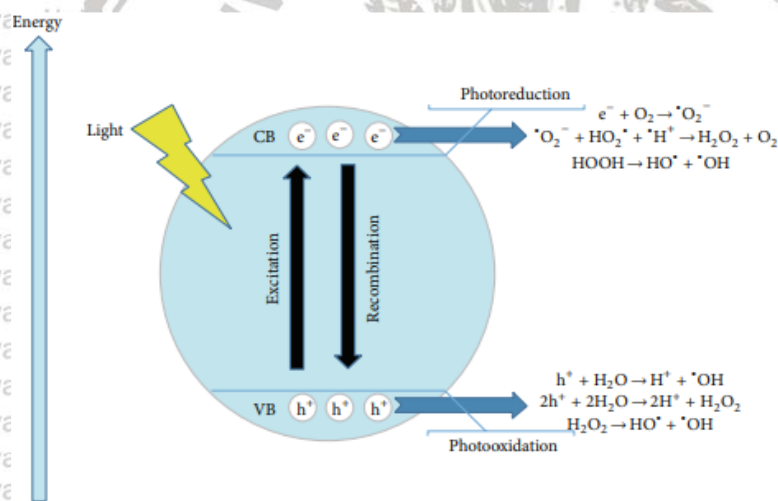
Phyllosilicates dibentuk oleh satu lembar oktahedral terikat antara dua lembar tetrahedral (2:1). Ketika kation aluminium pada lapisan oktahedral sebagian tersubstitusi oleh magnesium divalen atau kation besi, kelompok lempung smektit terbentuk, yang strukturnya terdiri dari lembaran pusat yang mengandung kelompok $\text{MO}_4(\text{OH})_2$ simetri oktahedral yang terkait dengan dua lembaran tetrahedral (MO_4) memproduksi lapisan yang ditunjuk sebagai T:O:T seperti pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Representasi skema dari montmorillonit
Sumber: Nascimento (2016)

2.7 Kerangka Konsep Penelitian

Fotokatalis adalah bahan yang menyerap cahaya untuk membawanya ke tingkat energi yang lebih tinggi, dan memberikan energi tersebut untuk mereaksikan zat untuk reaksi kimia berlangsung. Pada penelitian kali ini digunakan gerabah yang mengandung Al_2O_3 dan SiO_2 yang merupakan semikonduktor sebagai fotokatalis dalam pemecahan ikatan hidrogen pada molekul air dengan energi foton. Nano partikel gerabah akan ditaburkan ke air pada reaktor fotokatalisis. Elektron yang terdapat pada semi konduktor dalam kandungan gerabah membutuhkan energi celah pita agar dinaikkan dari pita valensi ke pita konduksi. Cahaya pada lampu halogen yang mengandung energi foton akan diserap oleh semi konduktor dalam kandungan gerabah dengan energi yang sama atau lebih tinggi dari energi celah pita. Foton yang diserap menciptakan pemisahan muatan saat electron dinaikkan dari pita valensi ke pita konduksi, menghasilkan gas hidrogen di pita konduksi dan menciptakan lubang (h^+) di pita valensi. Elektron tereksitasi ini dapat mereduksi substrat atau bereaksi dengan akseptor electron yaitu oksigen. Proses fotokatalisis diilustrasikan seperti pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Proses fotokatalisis

Sumber: Johar (2015)

2.8 Hipotesis

Hipotesis yang dapat diambil adalah dengan menambahkan nano partikel gerabah yang mengandung material semikonduktor pada proses fotokatalisis menggunakan cahaya lampu halogen berdaya rendah dapat menyebabkan terputusnya ikatan pada molekul air yang akan menghasilkan hidrogen sehingga dapat mempercepat proses fotokatalik untuk menghasilkan hidrogen.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental yang nyata (*true experimental research*). Metode dilakukan untuk menguji suatu perlakuan dengan cara membandingkan satu atau kelompok sampel pengujian tertentu dengan menggunakan perlakuan atau tanpa perlakuan.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan maret 2021 hingga selesai, laboratorium yang digunakan pada penelitian ini adalah :

- Laboratorium SEM, Departemen Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh November. Untuk pengujian karakterisasi spesimen analisa unsur.
- Laboratoium Mineral dan Material Maju (Sentral) Universitas Negeri Malang. Untuk pengujian absorbansi.
- Laboratorium Motor Bakar Universitas Brawijaya, untuk pengujian produksi hidrogen.

3.3 Variabel Penelitian

Pada penelitian ini penulis menggunakan tiga macam variabel, yaitu :

1. Variabel bebas

Pada penelitian ini, variabel bebas adalah warna cahaya lampu pada proses fotokalisis. Variasi warna lampu adalah violet, biru, hijau, kuning, oranye dan merah.

2. Variabel terikat

Pada penelitian ini, varibel terikat yang digunakan adalah laju produksi hidrogen yang dihasilkan pada proses fotokatalis dengan penambahan nano partikel gerabah dan penggunaan warna cahaya yang berbeda.

3. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang besar nilainya telah di tentukan sebelum penelitian berlangsung dan bersifat konstan. Pada penelitian kali ini, variabel terkontrol adalah konsentrasi nano partikel gerabah sebesar 25 ppm dan 50 ppm untuk masing-masing warna cahaya

3.4 Alat-alat dan Bahan-bahan Penelitian

3.4.1 Alat-alat Penelitian

1. Timbangan Digital Portabel

Timbangan digital portabel (ditunjukkan pada Gambar 3.1) berfungsi untuk mengukur massa nano partikel gerabah yang akan digunakan.

Merek : Camry EHA501-31P

Ketelitian : 0,1 gram

Kapasitas : 200 gram

Scale size : 4.27" x 2.36" x 0.78"



Gambar 3.1 Timbangan digital portabel

2. Sensor Hidrogen MQ-8

Sensor gas MQ-8 (ditunjukkan pada Gambar 3.2) merupakan sensor gas yang memiliki sensitivitas tinggi terhadap gas hidrogen. Sensor ini mampu mengukur hidrogen dalam rentang 100 – 10.000 ppm. Prinsip kerja sensor MQ-8 adalah satuan resistansi dari kawat pemanas (*heater*) akan mengecil sesuai dengan konsentrasi gas yang dikarenakan molekul gas menyentuk permukaan lapisan sensitif SnO_2 . Sebaliknya, satuan resistansi dari kawat pemanas (*heater*) akan semakin tinggi jika konsentrasi gas menurun sehingga tegangan keluarannya akan menurun. Dengan demikian perubahan konsentrasi gas dapat mengubah nilai resistansi sensor dan juga akan mempengaruhi tegangan keluarannya, perbedaan inilah yang dijadikan acuan bagi sensor hidrogen MQ-8.

Model : MQ-8

Target Gas : Hydrogen

Detection Range : 100~1000 ppm (H_2 gas)

Loop Voltage V_c : ≤ 24 DC

Heater Voltage V_h : $5,0V \pm 0,1V$ AC or DC

Output Voltage V_s : 2,5V~4,0V (in 1000ppm H_2)



Gambar 3.2 Sensor gas hidrogen MQ-8

3. Arduino Uno

Arduino Uno (ditunjukkan pada Gambar 3.3) merupakan Arduino Uno R3 berbasis ATmega28. Arduino Uno mampu mengenali lingkungan sekitar melalui berbagai jenis sensor dimana menerima input sinyal analog lalu di konversi menjadi sinyal digital.



Gambar 3.3 Arduino uno R3

4. Reaktor

Reaktor ditunjukkan (ditunjukkan pada Gambar 3.4) berfungsi untuk menjadi tempat terjadinya proses fotokatalisis.

Bahan : Kaca

Volume : 0,35 liter

Dimensi : 105 mm x 162 mm (diameter alas x tinggi)



Gambar 3.4 Reaktor

5. Laptop

Laptop (ditunjukkan pada Gambar 3.5) berfungsi untuk menampilkan data dari hasil fotokatalisis. Dengan spesifikasi sebagai berikut:

Merek : Asus

Seri : X550V

CPU : Intel® Core™ i7-7700HQ CPU @ 2.80 GHz

GPU : NVIDIA GeForce GTX 950M

RAM : 8 GB



Gambar 3.5 Laptop

6. Lampu Halogen

Lampu halogen (ditunjukkan pada Gambar 3.6) berfungsi untuk memberikan cahaya pada fotokatalis agar dapat bereaksi. Spesifikasi dari lampu halogen sebagai berikut :

Merek : Philips Essential

Daya : 50 Watt

Voltase : 12 Volt

Warna : *warm white*



Gambar 3.6 Lampu halogen

7. Plastik Mika

Plastik mika (ditunjukkan pada Gambar 3.7) termasuk dalam bahan jenis polimer dan bersifat transparan. Plastik mika yang digunakan memiliki tebal 0,2 mm dengan ukuran kertas A4. Plastik mika disiapkan dalam beberapa warna yaitu, violet, biru, hijau, kuning, oranye dan merah. Masing-masing warna dari plastik mika akan mempengaruhi warna cahaya lampu halogen dan akan memiliki panjang gelombang cahaya sesuai warna yang dihasilkan., seperti yang telah ditunjukkan pada Tabel 2.2.



Gambar 3.7 Plastik mika

8. Adaptor

Adapter pada gambar 3.8 berfungsi untuk merubah arus AC menjadi arus DC yang digunakan sebagai energi bagi lampu halogen.

Merek : AutoSAT
 Input Voltage : Maintenance Free (kering)
 Output Voltage : AC 110V atau AC 240V
 Daya : 96 Watt



Gambar 3.8 Adaptor

9. Milling

Milling (ditunjukkan pada Gambar 3.9) yang digunakan merupakan modifikasi dari kipas angin dengan menambah wadah berisi serbuk gerabah dan beberapa *ball bearing*. *Milling* berfungsi untuk menghaluskan serbuk gerabah menjadi nano partikel.

Spesifikasi *milling* sebagai berikut :

Merek	: Maspion
Tipe	: F – 23 DE
Kecepatan putar (<i>speed 1</i>)	: 1500 rpm
Kecepatan putar (<i>speed 2</i>)	: 2500 rpm
Diameter <i>ball bearing</i>	: 8 mm
Jumlah <i>ball bearing</i>	: 8
Tegangan	: 220 Volt
Frekuensi	: 50 Hz
Daya	: 25 Watt
Ukuran	: 230 mm (9")



Gambar 3.9 Milling

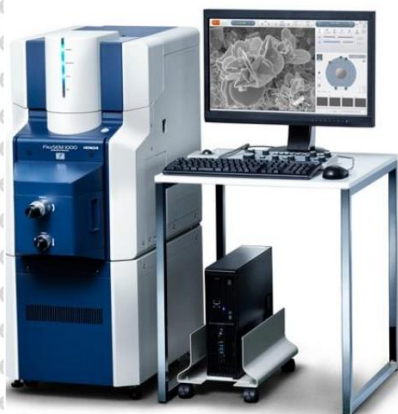
10. *Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDS)*

Alat ini digunakan untuk mengamati struktur mikro dan analisa unsur dari spesimen.

Gambar 3.10 menunjukkan alat uji *SEM-EDS*. Prinsip kerjanya adalah dengan menghasilkan sinar elektron dan dipercepat dengan anoda. Lalu elektron difokuskan dengan lensa magnetik menuju ke permukaan spesimen. Sehingga terjadi interaksi antara elektron dan atom pada spesimen dan menghasilkan umpan balik berupa informasi-informasi mengenai topografi dan juga kandungan unsur pada spesimen.

Berikut spesifikasi dari *SEM-EDS* yang digunakan :

Merek	: Hitachi High-Technologies
Tipe	: FlexSEM 1000 II
Power	: single-phase AC 100 - 240 V
OS	: Microsoft Windows 10 Pro 64bit
memory	: 8 GB or more
Resolusi layar	: 1.920 x 1.080 pixels
Ukuran spesimen	: maks. 80 mm (diameter)



Gambar 3.10 SEM-EDS

11. UV-Vis Spectrophotometer

Alat ini digunakan untuk mengukur absorbansi dan transmitansi sebagai fungsi dari gelombang. Pada Gambar 3.11 menunjukkan UV-Vis Spectrophotometer.



Gambar 3.11 UV-Vis spectrophotometer specord 200 Plus

Merek	: AnalytikJena
Tipe	: Specord 200 Plus
Dimensi	: 590 x 185 x 260 mm
Berat	: 27 kg
Software	: WinASPECT Plus
Kebutuhan listrik	: 230 V atau 115 V
Rentang gelombang	: 190-1100 nm
Scanning speed	: 12000 nm/min

12. Ph Meter

PH meter berfungsi untuk mengukur derajat keasaman atau kebasaan suatu cairan.

Gambar 3.12 menunjukkan Ph meter yang digunakan dalam penelitian ini.

Merek : Kitchenware

Rentang pH : 0 - 14

Tingkat Ketelitian : 0,01

Sumber daya : Baterai



Gambar 3.12 pH meter

13. Termometer

Termometer berfungsi untuk mengukur suhu larutan fotokatalis pada awal pengujian dan akhir pengujian. Gambar 3.13 menunjukkan termometer yang digunakan pada penelitian ini.

Merek : MC

Rentang suhu : 0 – 100 °C

Satuan : Celcius (°C)

Fluida : Raksa



Gambar 3.13 Termometer

3.4.2 Bahan-bahan Penelitian

1. Air / Aquades

Air digunakan sebagai bahan utama untuk proses penelitian ini. Air, nantinya akan bereaksi dengan bahan semikonduktor sehingga akan menghasilkan gas hidrogen dan gas oksigen. Aquades ditunjukkan pada Gambar 3.14.



Gambar 3.14 Air/aquades

2. Gerabah

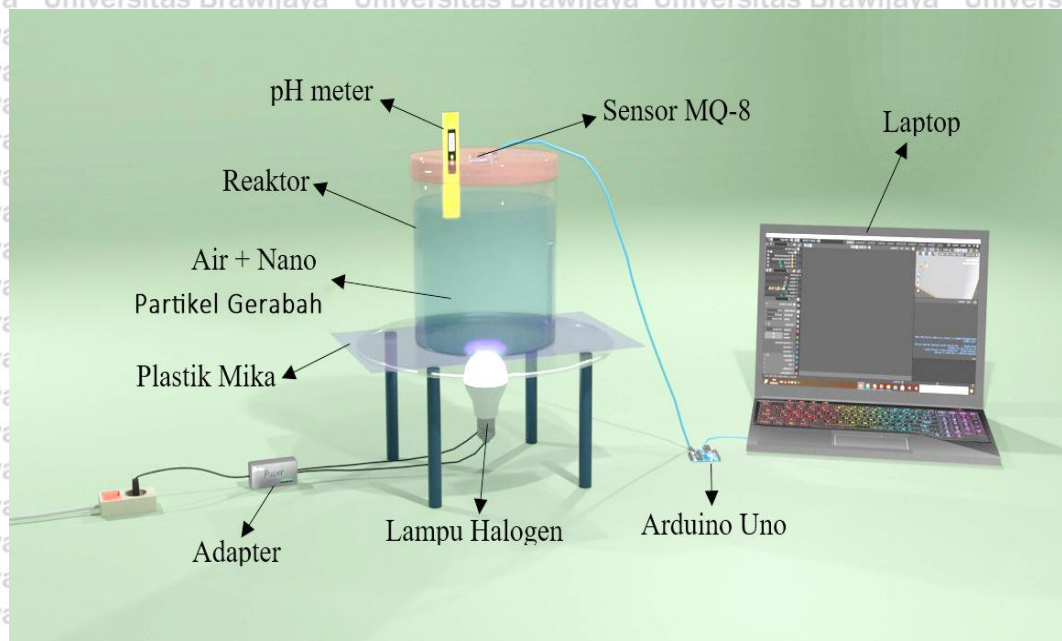
Gerabah digunakan sebagai bahan semikonduktor yang berfungsi untuk menyerap cahaya matahari sehingga proses fotokatalisis dapat terjadi. Gambar 3.15 menunjukkan nano partikel gerabah yang digunakan sebagai bahan semikonduktor.

Nama Material : Gerabah
 Ukutan butir : 75-100 nm
 Kandungan kimia : Oksigen (O), Natrium (Na), Magnesium (Mg), Aluminium (Al), Silikon (Si), Kalsium (Ca), dan besi (Fe)



Gambar 3.15 Nano partikel gerabah

3.5 Skema Instalasi Alat Penelitian



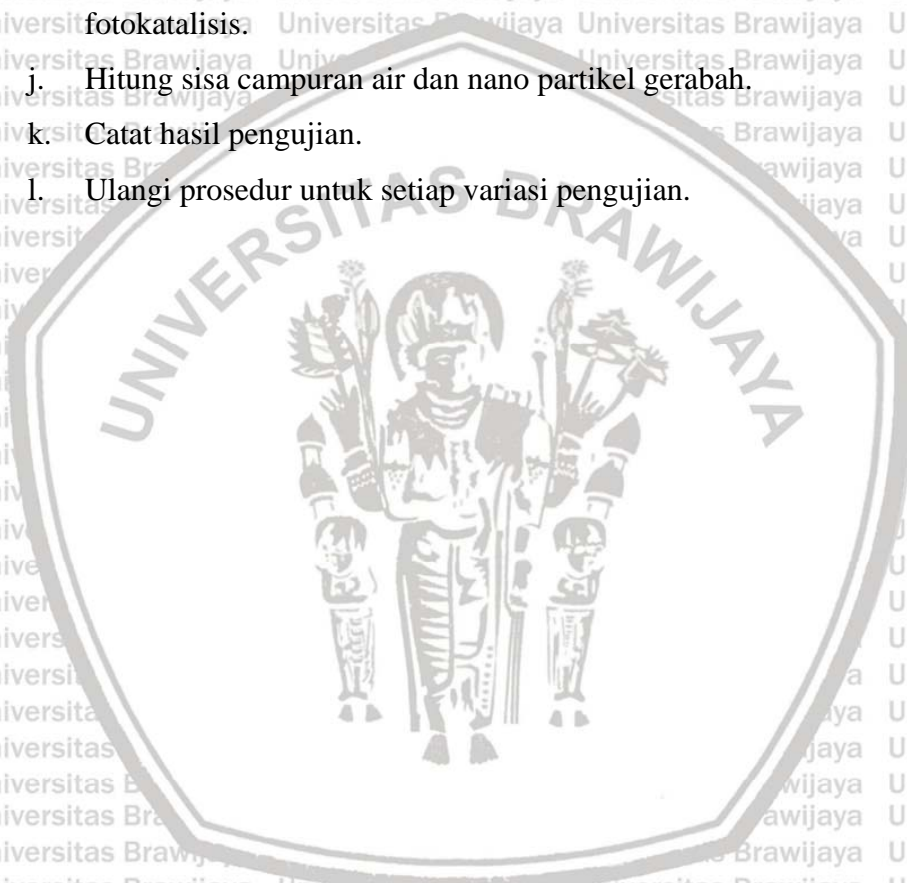
Gambar 3.16 Skema instalasi alat penelitian

3.6 Prosedur Pengambilan Data

Prosedur pengambilan data meliputi :

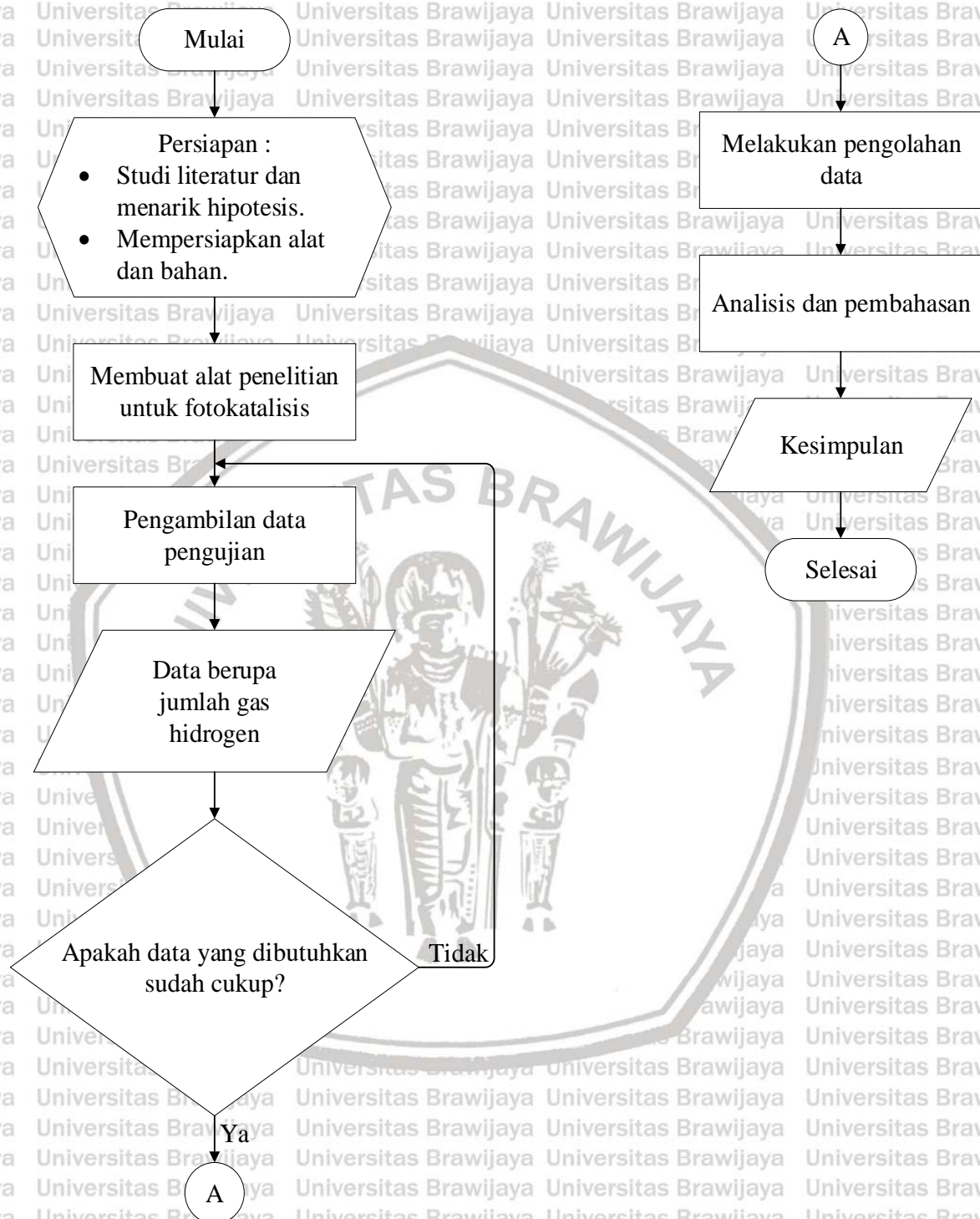
1. Proses pembuatan nano partikel gerabah.
 - a. Hancurkan bahan gerabah 100 gram hingga halus.
 - b. Ayak gerabah yang telah dihancurkan dengan ayakan 225 mesh, agar mendapatkan ukuran partikel yang homogen dan lebih efektif saat di-*milling*, ulangi proses pertama hingga semuanya lolos ayakan.
 - c. Masukkan gerabah ke *milling* secara bertahap. Tiap prosesnya sebanyak 25 gram.
 - d. Hidupkan *milling* dengan mengaktifkan *speed 1* (1500 rpm) pada alat hingga mencapai 0,5 juta siklus.
 - e. Matikan alat.
 - f. Ulangi langkah d dan e hingga semuanya digiling.
 - g. Jemur nano partikel gerabah untuk menguapkan kandungan airnya.
 - h. Hitung nano partikel gerabah pada timbangan dan bagi hingga mendapatkan variasi konsentrasi 200 ppm dan 500 ppm sama banyaknya.
2. Proses pengambilan data.
 - a. Atur dan pasang semua alat-alat penelitian pada ruang pengujian fotokatalisis sesuai dengan Gambar 3.18.
 - b. Masukkan campuran nano partikel gerabah dan air ke dalam reaktor fotokatalisis.

- c. Ambil gambar campuran nano partikel gerabah dan air sebelum dilakukan fotokatalisis.
- d. Buka aplikasi arduino dan *upload* kode arduino.
- e. Letakkan mika berwarna diatas lampu sesuai variasi.
- f. Nyalakan lampu, pilih serial monitor pada aplikasi untuk memantau nilai, nyalakan timer untuk mengetahui waktu. Lakukan bersamaan.
- g. Tunggu selama 2 jam.
- h. Matikan lampu, serial monitor dan *timer*.
- i. Ambil gambar campuran nano partikel gerabah dan air setelah dilakukan fotokatalisis.
- j. Hitung sisa campuran air dan nano partikel gerabah.
- k. Catat hasil pengujian.
- l. Ulangi prosedur untuk setiap variasi pengujian.



3.7 Diagram Alir Penelitian

Gambar 3.17 merupakan diagram alir dalam skripsi ini.



Gambar 3.17 Diagram alir penelitian

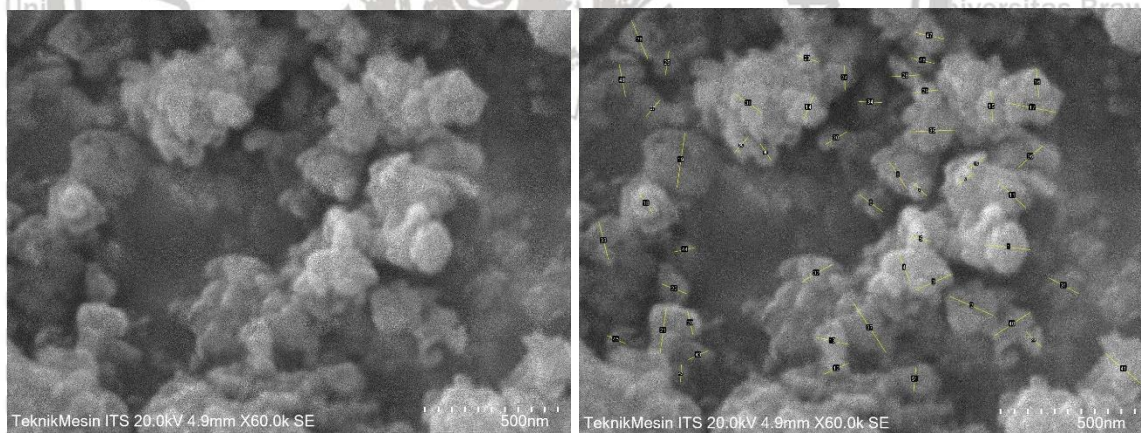
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengamatan pada Partikel Gerabah

Partikel gerabah diamati untuk menentukan ukuran partikel, distribusi ukuran partikel, kandungan yang ada pada gerabah dan juga muatannya. Pengamatan dilakukan dengan menggunakan *SEM-EDS* dan *UV-Vis Spectrophotometer*, kemudian hasilnya diolah dengan menggunakan *software ImageJ* untuk mendapatkan data angka.

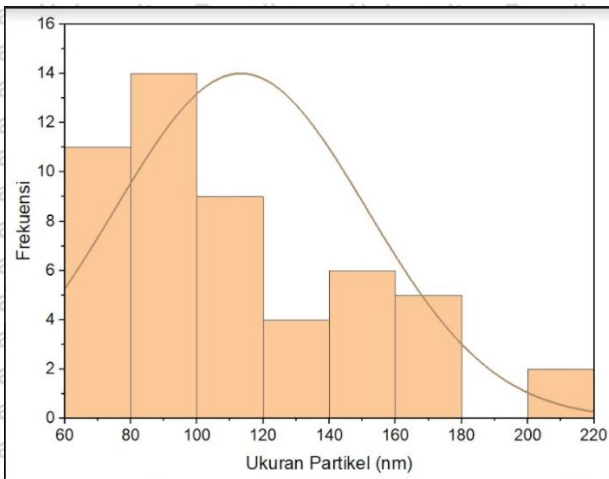
4.1.1 Hasil Pengujian SEM-EDS

Partikel gerabah dibuat dengan metode *top-down* menggunakan *milling* dengan tujuan agar menjadi nano partikel. Nano partikel sendiri merupakan partikel yang memiliki ukuran antara 1-100 nm. Alat SEM digunakan untuk mengamati ukuran partikel dengan menggunakan perbesaran sampai dengan 60.000x sehingga di dapatkan gambar partikel gerabah dengan skala 500 nm, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 (a).



Gambar 4.1 (a) Hasil SEM partikel gerabah, (b) Hasil olahan gambar dengan *ImageJ*

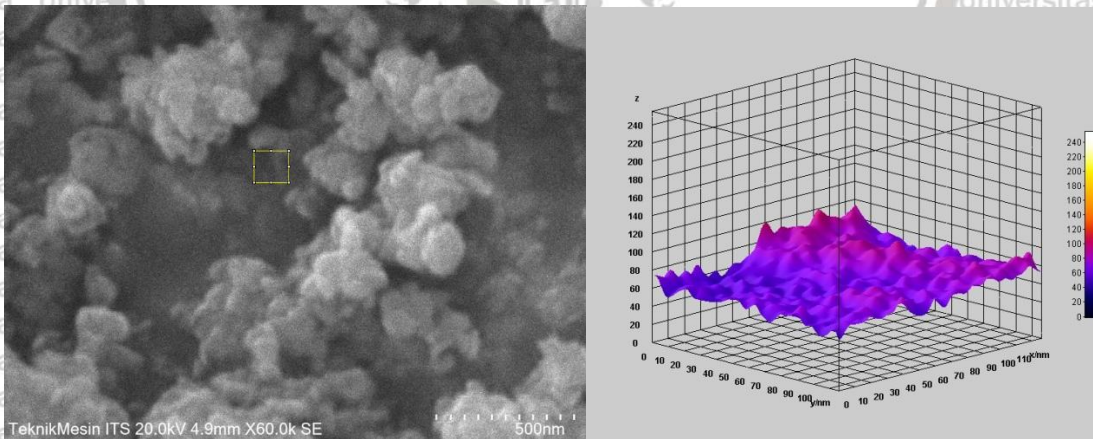
Gambar hasil SEM pada Gambar 4.1 (a) partikel gerabah tersebut diolah dengan *ImageJ* untuk mengukur ukuran partikel yang memungkinkan dan terlihat untuk diukur. Ditunjukkan pada Gambar 4.1 (b), terdapat garis kuning yang merupakan label pengukuran pada beberapa partikel. Dari pengukuran tersebut, didapatkan histogram distribusi ukuran partikel seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Distribusi ukuran partikel gerabah

Hasil dari distribusi partikel gerabah dapat dilihat pada gambar 4.2. Dimana distribusi partikel gerabah terbanyak adalah berukuran 80-100 nm dan ada yang belum berukuran nano partikel yaitu 200-300 nm, dimana hal itu akan mempengaruhi larutan yang akan menyebabkan endapan pada larutan gerabah.

Hasil SEM pada Gambar 4.1 (a) juga dapat digunakan untuk menentukan muatan apa yang terdapat pada permukaan partikel. Dengan menggunakan *ImageJ*, dapat diketahui bagaimana plot permukaan yang direkonstruksi secara tiga dimensi (3D) dan apa muatan permukaannya. Gambar 4.3 (a) adalah area yang akan diobservasi dan (b) adalah gambar plot permukaan 3D dari partikel gerabah.

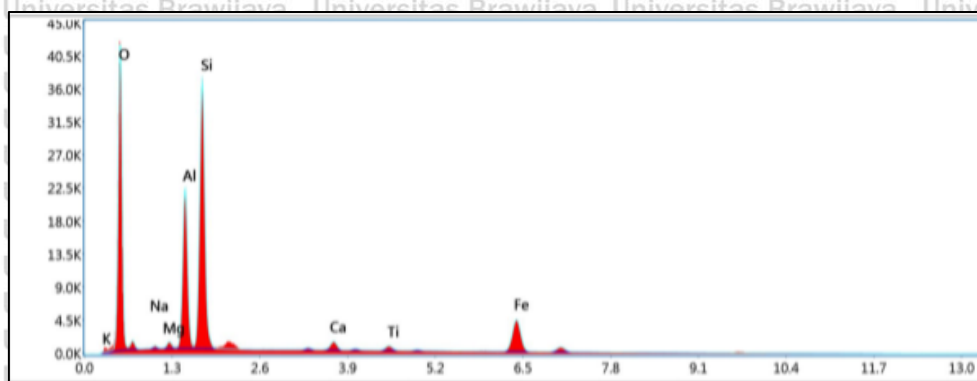


Gambar 4.3 (a) Area observasi, (b) Plot permukaan 3D

Hasil dari *surface plot* gerabah dapat dilihat pada gambar 4.3 (b). Dimana pada gambar warna yang semakin hitam memiliki kecenderungan bermuatan negatif sedangkan semakin putih memiliki kecenderungan bermuatan positif. Pada gambar terlihat bahwa permukaan pada gerabah memiliki kecenderungan berwarna ungu yang berarti permukaan pada gerabah memiliki kecenderungan bermuatan negatif. Dimana hal itu akan

mempengaruhi jumlah produksi hidrogen yang dilepaskan pada reaksi fotokatalis yang akan langsung ditarik pada muatan negatif pada permukaan gerabah.

Kandungan unsur pada gerabah didapatkan melalui pengujian EDS. Hasil pengujian EDS ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Hasil Pengujian EDS

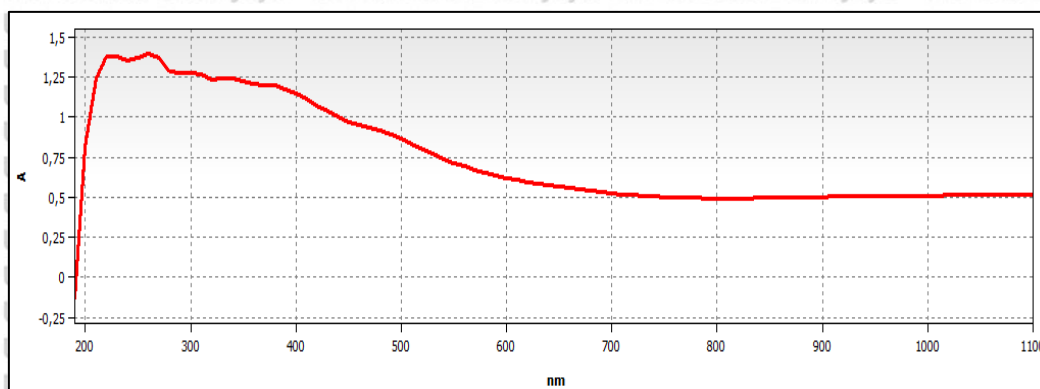
Tabel 4.1
Kandungan Gerabah

Kandungan	O	Na	Mg	Al	Si	Ca	Ti	Fe
Atomic (%)	63,43	0,49	0,63	11,43	18,58	0,73	0,39	4,31

Dari Gambar 4.4 diketahui gerabah terdiri atas unsur oksigen (O), natrium (Na), magnesium (Mg), aluminium (Al), silikon (Si), kalsium (Ca), Titanium (Ti) dan besi (Fe). Tabel 4.1 juga menunjukkan kandungan gerabah dalam persentase, kandungan silikon dan aluminium yang relatif besar dalam gerabah, akan memberikan peran dalam besarnya penyerapan gelombang cahaya.

4.1.2 Hasil Pengujian *UV-Vis Spectrophotometer*

Hasil dari pengujian *UV-Vis Spectrophotometer* pada gerabah diperoleh data absorbansi gerabah. Absorbansi adalah adalah fraksi cahaya datang yang diserap partikel tersebut. Hasil dari pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Hasil pengujian *UV-Vis spectrophotometer*

Pada data dari Gambar 4.5 menunjukkan bahwa nilai dari absorbansi cahaya pada panjang gelombang 700-1100 nm relatif konstan, lalu mulai meningkat mulai dari 700 nm sampai 240 nm, lalu turun mulai dari 240 nm sampai 0 nm. Apabila hasil dari pengujian ini digabungkan dengan data warna dari tiap panjang gelombang yang ditunjukkan pada Tabel 2.1, maka didapatkan besar absorbansi gerabah pada cahaya warna merah (620-700 nm), oranye (590-620 nm), kuning (560-590 nm), warna hijau (480-560 nm), biru (430-480 nm) dan ungu (400-430 nm) besar absorbansinya terus meningkat sampai dengan panjang gelombang UV.

4.2 Pengujian Fotokatalis Gerabah

4.2.1 Endapan Partikel

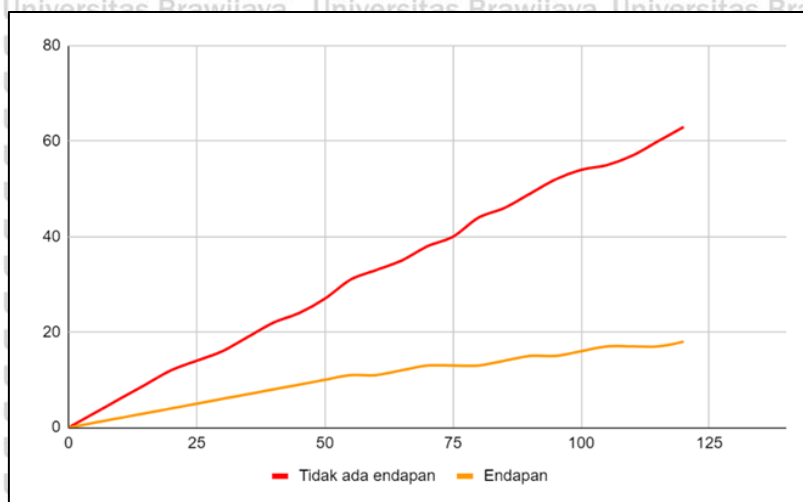
Pengujian fotokatalisis dilakukan dengan menambahkan nano partikel gerabah dengan konsentrasi 25 ppm dan 50 ppm. Ditunjukkan pada gambar 4.2, bahwa partikel gerabah tidak semuanya termasuk ke dalam nano partikel, dimana dapat disebut nano partikel adalah ketika ukurannya berada pada rentang 1-100 nm.

Untuk memaksimalkan produksi hidrogen, partikel-partikel yang tidak berukuran nano (mikro) perlu untuk dipisahkan. Pemisahan partikel tersebut dapat dilakukan dengan sebuah pendekatan, yaitu dengan cara mencampurkan gerabah ke dalam air dan kemudian dibiarkan sekitar 10 menit untuk mengendapkannya, kemudian endapan tersebut dibuang. Maka, sisa gerabah yang terdapat di dalam air yang tidak dibuang adalah gerabah yang sudah termasuk nano partikel. Ini disebabkan karena partikel yang ukurannya masih mikro akan mengendap karena gaya berat dari partikel, namun pada partikel yang sudah berukuran nano akan sangat dipengaruhi oleh gaya-gaya antar partikel, yang mana menyebabkan partikel tetap mengambang pada campuran tersebut.

Dengan tersisanya partikel-partikel yang sudah berukuran nano pada campuran akan menyebabkan produksi hidrogen lebih banyak dibandingkan ketika masih ada partikel yang berukuran mikro. Ini disebabkan karena ketika partikel berukuran nano akan memiliki luas area kontak yang lebih banyak dengan cahaya dibandingkan dengan mikro partikel. Lebih besarnya luas area kontak dengan cahaya akan mengakibatkan meningkatnya absorpsi cahaya pada partikel sehingga memungkinkan untuk menyerap energi lebih banyak.

Lebih besarnya hasil produksi hidrogen ketika sudah dilakukan pendekatan untuk menyisahkan nano partikel saja (endapan dibuang) dan ketika masih terdapat mikro partikel (endapan tidak di buang) ditunjukkan pada gambar 4.6. Pengujian dilakukan dengan

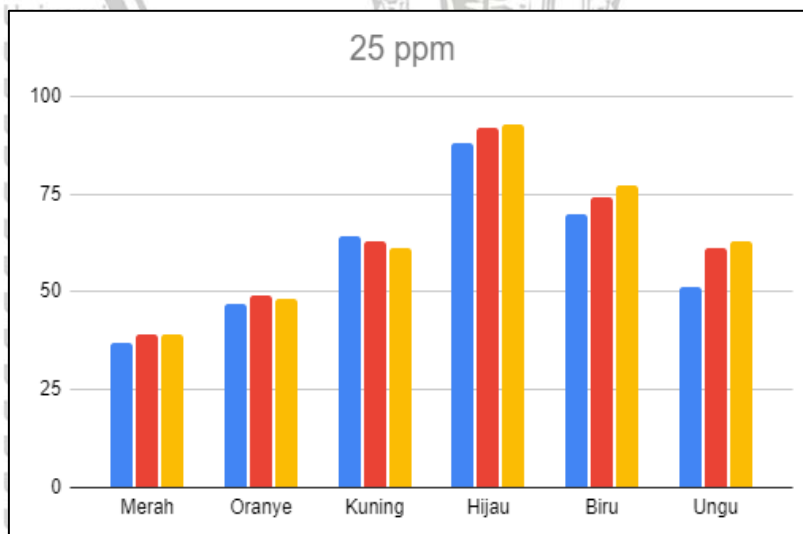
menggunakan konsentrasi gerabah 25 PPM dan sumber cahaya warna kuning untuk melihat perbedaan dengan dan tanpa endapan. Maka, didapatkan jumlah produksi hidrogen setelah 2 jam pengujian, yaitu dengan endapan sebesar 18 PPM H_2 dan tanpa endapan sebesar 63 PPM H_2 .



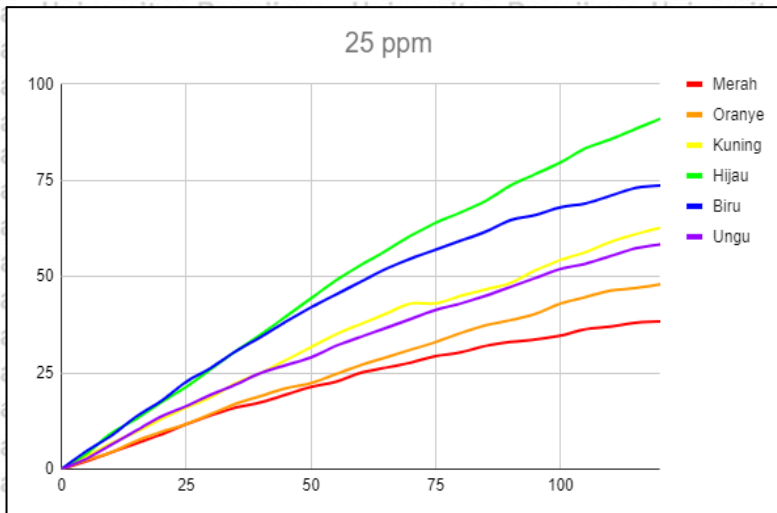
Gambar 4.6 Produksi hidrogen dengan endapan dan tanpa endapan

4.2.2 Pengaruh Variasi Warna Cahaya terhadap Produksi Hidrogen

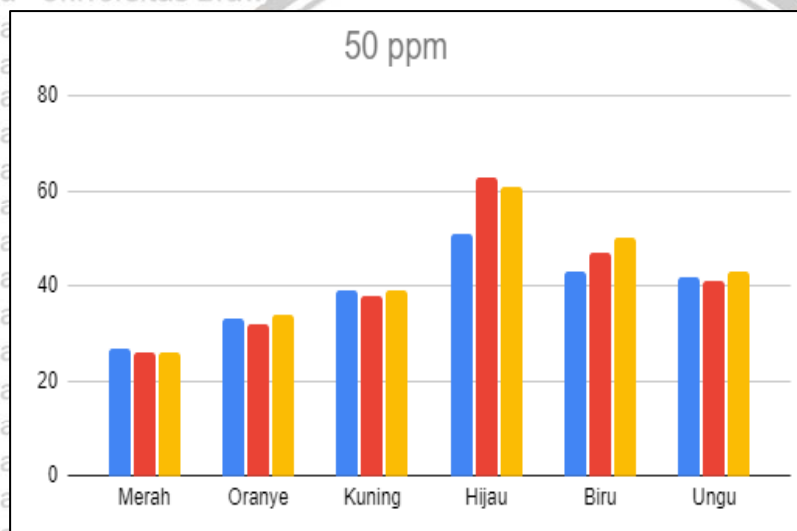
Pengujian pengaruh variasi warna pada fotokatalis nano partikel gerabah dengan 25 PPM dan 50 PPM dilakukan sebanyak 3 kali pada masing-masing warna untuk validasi dari data yang didapatkan. Hasil 3 kali pengujian tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.9. Kemudian didapatkan juga grafik rata-rata produksi hidrogen tiap-tiap warna terhadap waktu yang ditunjukkan pada Gambar 4.8 dan Gambar 4.10.



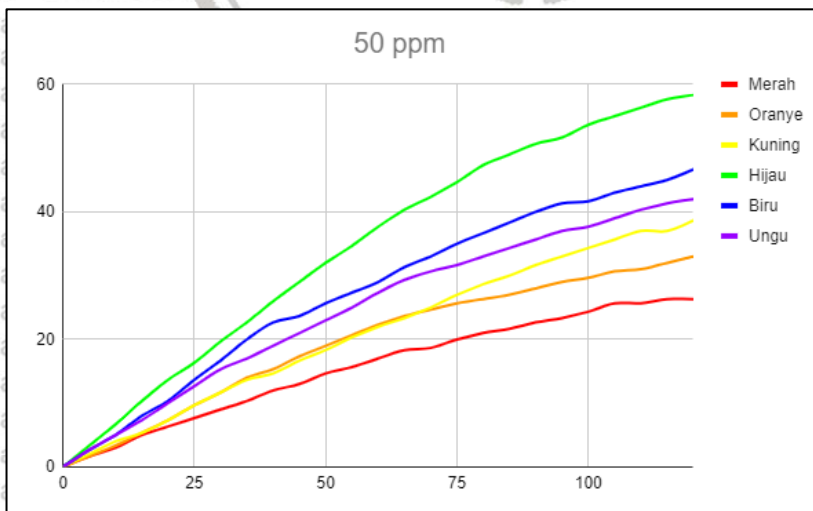
Gambar 4.7 Percobaan masing-masing warna pada 25 PPM konsentrasi gerabah sebanyak 3 kali



Gambar 4.8 Produksi rata-rata hidrogen masing-masing warna terhadap waktu pada 25 PPM konsentrasi gerabah



Gambar 4.9 Percobaan masing-masing warna pada 50 PPM konsentrasi gerabah sebanyak 3 kali



Gambar 4.10 Produksi rata-rata hidrogen masing-masing warna terhadap waktu pada 25 PPM konsentrasi gerabah

Pada Gambar 4.8, didapatkan data dari warna yang lebih banyak memproduksi hidrogen apabila diurutkan dari yang terendah ke tertinggi, Merah (38,33 PPM), Oranye (48 PPM), Ungu (58,33 PPM), Kuning (62,67 PPM), Biru (73,67 PPM), Hijau (91 PPM). Dimana data tersebut merupakan nilai rata-rata produksi hidrogen dari 3 kali percobaan pada 25 PPM konsentrasi gerabah. Pada Gambar 4.10, didapatkan data dari warna yang lebih banyak memproduksi hidrogen apabila diurutkan dari yang terendah ke tertinggi, Merah (26,33 PPM), Oranye (33 PPM), Kuning (38,67 PPM), Ungu (42 PPM), Biru (46,67 PPM), Hijau (58,33 PPM). Data pada Gambar 4.10 merupakan nilai rata-rata produksi hidrogen dari 3 kali percobaan pada 50 PPM konsentrasi gerabah.

Hal ini dikarenakan intensitas cahaya lampu halogen warna hijau lebih besar dari warna biru dan ungu dapat dilihat melalui grafik spektrum Gambar 4.11 pada suhu warna 3000 K dan memiliki energi foton yang besar sehingga dapat mengaktifasi energi band gap dari yang kecil hingga yang besar. Dimana suhu warna pada lampu halogen mengikuti persamaan hukum pergeseran Wien (Persamaan 4-1) sebagai berikut:

$$\lambda_m T = C \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

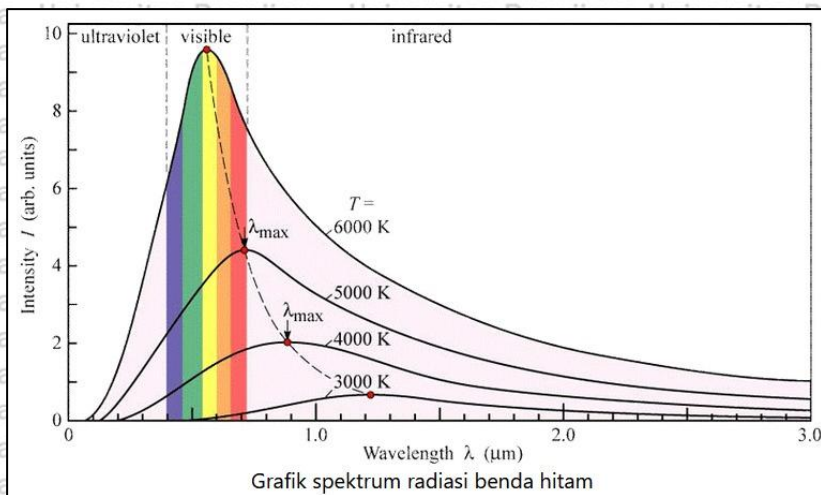
λ_m = Panjang gelombang maksimum (nm)

T = Temperatur benda yang berpijar (K)

C = Konstanta Wien ($2,898 \times 10^{-3} \text{ m}\cdot\text{K}$)

Warna biru dan ungu mengalami penurunan produksi energi dikarenakan intensitas cahaya yang kurang sehingga walaupun memiliki energi foton yang besar tapi tidak dapat mengaktifasi semua *band gap* karena kurangnya intensitas cahaya. Dan memiliki jumlah produksi hidrogen terendah dikarenakan warna merah memiliki energi foton yang kecil sehingga tidak dapat mengaktifasi energi *band gap* walaupun intensitas warna merah besar.

25 ppm memiliki jumlah produksi hidrogen lebih besar dari 50 ppm dikarenakan permukaan dari partikel gerabah memiliki kecenderungan bermuatan negatif sehingga pada saat gas H^+ dilepas, gas tersebut langsung diikat oleh permukaan gerabah sehingga tidak terdeteksi oleh sensor MQ-8.

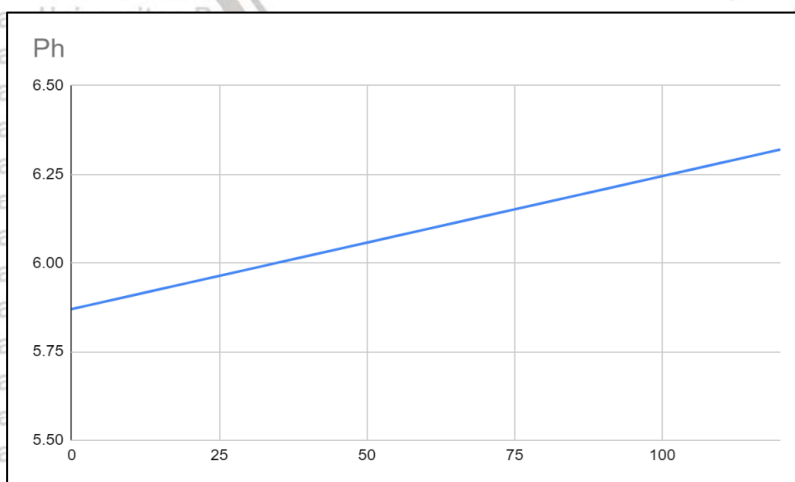


Gambar 4.11 Spektrum lampu halogen pada berbagai suhu warna

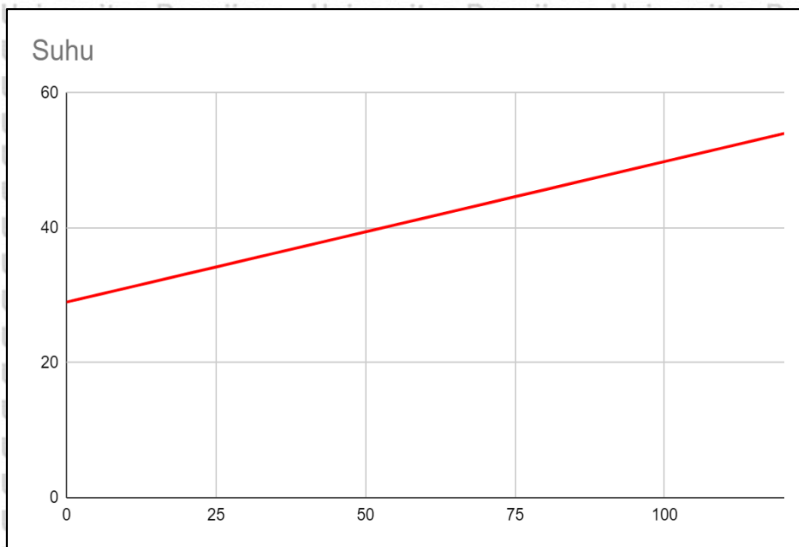
4.2.3 Pengaruh Suhu dan PH pada Fotokatalis Gerabah

PH dan temperatur selama pengujian masing-masing diukur dengan pH meter dan termometer raksa. Keduanya diamati pada kondisi awal dan akhir pengujian. PH awal pengujian adalah 5,87 kemudian pada akhir pengujian pH-nya meningkat menjadi 6,28 (ditunjukkan pada Gambar 4.12). Suhu awal pengujian adalah 27°C dan pada akhir pengujian suhunya meningkat menjadi 54 °C (ditunjukkan pada Gambar 4.13)..

Hasil pengujian didapatkan hasil bahwa PH pada larutan dari awal dan akhir selalu mengalami kenaikan. Hal ini karena permukaan gerabah yang didominasi oleh muatan negatif mengikat lebih banyak ion H^+ dari larutan, akibatnya ion OH^- lebih banyak bergerak bebas di dalam larutan. Lebih banyak ion OH^- dalam larutan menyebabkan larutan menjadi lebih basa. Dan dari pengujian didapatkan hasil bahwa terjadi kenaikan suhu dimana dapat disimpulkan bahwa suhu tidak mempengaruhi reaksi fotokatalis dikarenakan kenaikan produksi hidrogen cukup konstan.



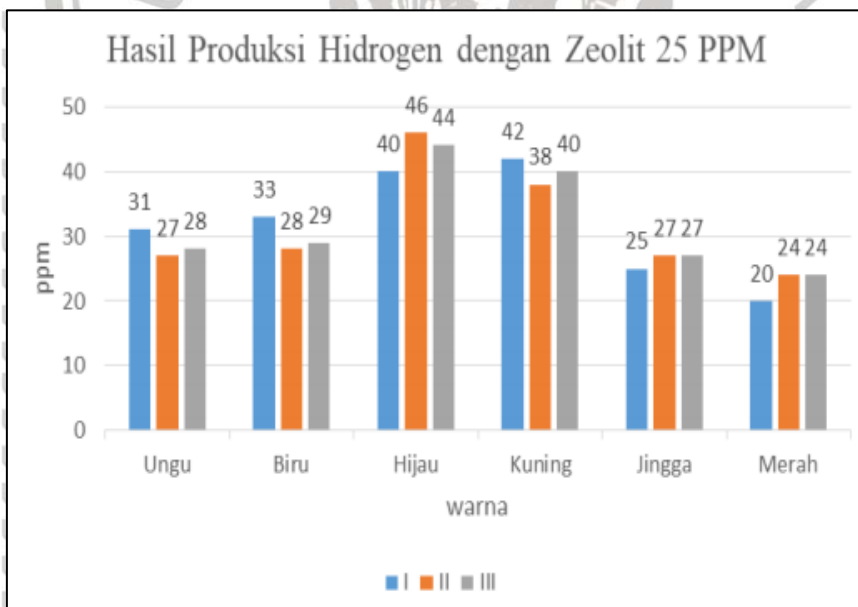
Gambar 4.12 Perubahan pH selama pengujian



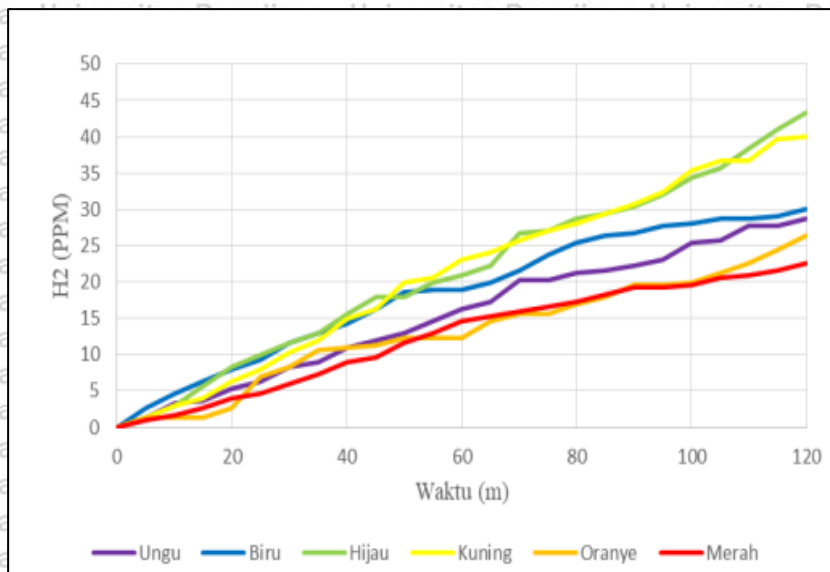
Gambar 4.13 Perubahan temperatur selama pengujian

4.2.4 Pengaruh Perbedaan Katalis terhadap Hasil Produksi Gas Hidrogen

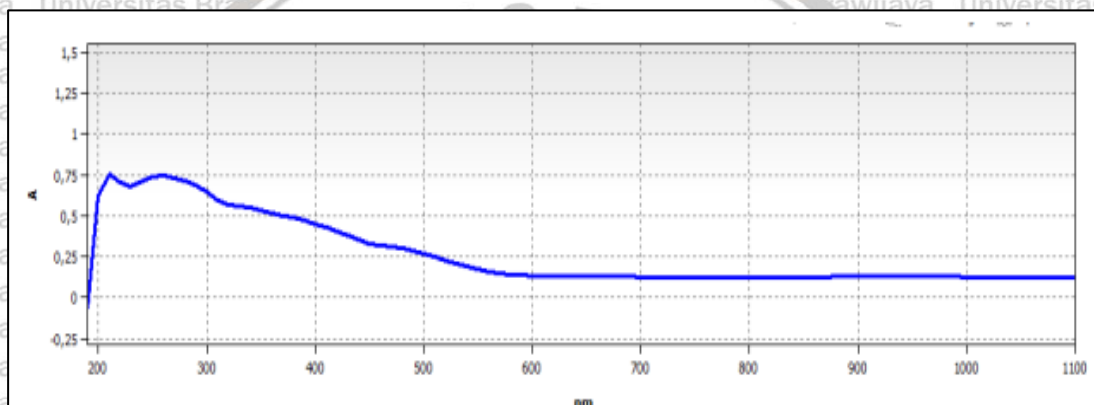
Produksi hidrogen dengan fotokatalis nano partikel gerabah pada pengujian ini yang menggunakan daya lampu rendah, yaitu sebesar 50 Watt, dapat dibandingkan dengan pengujian fotokatalis yang telah dilakukan Maulana (2021) yang menggunakan fotokatalis nano partikel gerabah yang juga daya lampu rendah.



Gambar 4.14 Hasil produksi hidrogen dengan fotokatalis nano partikel zeolit 25 ppm daya rendah dalam 3 kali percobaan



Gambar 4.15 Hasil produksi hidrogen dengan fotokatalis nano partikel zeolit 25 ppm daya rendah



Gambar 4.16 Hasil pengujian UV-Vis Spectrophotometer zeolit

Pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 ditunjukkan hasil produksi gas hidrogen menggunakan proses fotokatalisis nano partikel gerabah dengan konsentrasi 25 ppm selama 2 jam menggunakan lampu berdaya rendah (50 watt) dan pada Gambar 4.14 dan Gambar 4.15 menggunakan nano partikel zeolit berdaya rendah (50 watt). Dan pada Gambar 4.16 merupakan hasil pengujian UV-Vis *spectrophotometer* zeolit. Pada kedua grafik dapat dilihat jika pada penggunaan katalis nano partikel gerabah menghasilkan gas hidrogen lebih tinggi dari pada hasil daripada penggunaan katalis nano partikel zeolit. Hal ini dikarenakan nano partikel gerabah memiliki nilai absorbansi lebih besar daripada nano partikel zeolit dimana absorbansi akan mempengaruhi daya serap partikel terhadap energi yang dihasilkan dari lampu halogen sehingga mempengaruhi jumlah produksi gas hidrogen yang dihasilkan.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari pengujian yang telah dilakukan mengenai produksi hidrogen dengan fotokatalis nano partikel gerabah menghasilkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Warna hijau adalah warna yang menghasilkan hidrogen paling banyak yaitu rata-rata sebesar 91 PPM H_2 pada 25 PPM gerabah dan 58,33 PPM H_2 pada 50 PPM gerabah, dikarenakan mendapatkan keuntungan dari absorbansi gerabah terhadap panjang gelombang cahaya dan juga dari intensitas radiasi pada lampu halogen.
2. Pada fotokatalis dengan penambahan gerabah dengan konsentrasi 25 PPM mendapatkan hasil produksi hidrogennya lebih tinggi daripada konsentrasi 50 PPM, hal ini dikarenakan ada lebih banyak hidrogen yang diikat permukaan gerabah yang cenderung bermuatan negatif yang konsentrasinya lebih tinggi.
3. Terjadi peningkatan pH pada proses fotokatalis dimana pH akhir setelah proses fotokatalis meningkat jika dibandingkan pH awal. Hal ini karena permukaan gerabah yang didominasi oleh muatan negatif mengikat lebih banyak ion H^+ dari larutan, akibatnya ion OH^- lebih banyak bergerak bebas di dalam larutan. Lebih banyak ion OH^- dalam larutan menyebabkan larutan menjadi lebih basa.
4. Terdapat peningkatan temperature pada proses fotokatalis dimana dapat disimpulkan bahwa suhu tidak mempengaruhi reaksi fotokatalis dikarenakan kenaikan produksi hidrogen cukup konstan.

5.2 Saran

1. Pembuatan nano partikel dapat dilakukan dengan metode dan alat yang canggih agar serbuk dapat menjadi nano partikel seluruhnya.
2. Alat dan metode yang digunakan pada proses fotokatalis dapat dilakukan dengan alat yang canggih agar mempermudah proses pengujian dan pengambilan data
3. Spesifikasi suhu warna pada lampu halogen yang dipilih, dapat digunakan yang memiliki suhu warna sebesar 6000 K karena lebih mendekati karakter dari cahaya sinar matahari.

4. Penelitian dapat dilanjutkan dengan melakukan penambahan unsur lain yang berfungsi untuk meningkatkan absorbansi fotokatalis gerabah pada cahaya tampak sehingga dapat meningkatkan jumlah produksi hidrogen.



DAFTAR PUSTAKA

- Agarwal, Shikha. (2019). *Engineering Chemistry: Fundamentals and Applications*. Edisi II. Cambridge University Press.
- Balkanski, M., & Wallis, R. F. (2000). *Semiconductor Physics and Applications*. Oxford University Press Inc.
- Chang, R., & Overby, J. (2011). *General Chemistry: The Essential Concepts*. vol. 6. McGraw-Hill.
- Johar, M. A., Afzal, R. A., Alazba, A. A., & Manzoor, U. (2015). *Photocatalysis and Bandgap Engineering Using ZnO Nanocomposites*. vol. 2015. no. 934587. Hindawi.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2018). *Outlook Energi Indonesia*.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2019). *Outlook Energi Indonesia*.
- Kotz, J. C., Treichel, P. M., Townsend, J. R. (2012). *Chemistry and Chemical Reactivity*. Edisi VIII. Brooks/Cole.
- Lim, J., Murugan, P., Lakshminarasimhan, N., Kim, J. Y., Lee, J. S., Lee, S. H., & Choi, Wonyong. (2013). *Synergic photocatalytic effects of nitrogen and niobium co-doping in TiO₂ for the redox conversion of aquatic pollutants under visible light*. Journal of Catalysis. Volume 310, February 2014, 91-99.
- Maulana, B. R. (2021). *Pengaruh Warna Cahaya Daya Rendah terhadap Produksi Hidrogen dengan Fotokatalis Nano Partikel Zeolit*. Skripsi. Universitas Brawijaya.
- Nascimento, Gustavo M. Do. (2016). *Structure of Clays and Polymer-Clay Composites Studied by X-ray Absorption Spectroscopies*.
- Niu, Y., Li, F., Yang, K., Wu, Q., Xu, P., & Wang, R. (2018). *Highly Efficient Photocatalytic Hydrogen on CoS/TiO₂ Photocatalysts from Aqueous Methanol Solution*. International Journal of Photoenergy, vol. 2018. no. 8143940.
- Oshida, Yoshiki. (2007). *Bioscience and Bioengineering of Titanium Materials*. Edisi I. Elsevier BV.
- Petrucci, R. H., Herring, F. G., Madura, J. D., & Bissonnette, C. (2010). *General Chemistry: Principles and Modern Applications*. Edisi X. Pearson Canada Inc.
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2014). *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics*. Edisi IX. Brooks/Cole.
- Sofri, Y. K., Siswanto, E., Winarto, Ueda, T., & Wardana, I. N. G. (2020). *The Role Of Activated Carbon In Boosting The Activity Of Clitoria Ternatea Powder Photocatalyst For Hydrogen Production*. International Journal Of Hydrogen Energy, 45(43), 22613–22628.
- Worrall, W. E. (1982). *Ceramic Raw Materials*. Edisi revisi II. Pergamon Press.

Yu, P. Y., & Carodna, M. (2010). *Fundamentals of Semiconductors: Physics and Materials Properties*. Edisi IV. Springer.

Zong, X., Xing, Z., Yu, H., Bai, Y., Lu, G. Q., Wang, L. (2013). *Photocatalytic hydrogen production in a noble-metal-free system catalyzed by in situ grown molybdenum sulfide catalyst*. Journal of Catalysis. Volume 310, February 2014, 51-56.

Zwinkels, J. C., & Canada, C. (2020). *Encyclopedia of Color Science and Technology*. *Encyclopedia of Color Science and Technology*, January 2015.



Lampiran 1 Data Hasil Pengujian Dengan Fotokatalis 25 ppm

• Pengujian 1

Merah				
t (m)	PH	T (°C)	H2	Hasil
0	5.87	27.5	29	0
5			31	2
10			34	5
15			36	7
20			39	10
25			41	12
30			44	15
35			46	17
40			48	19
45			50	21
50			52	23
55			53	24
60			56	27
65			57	28
70			58	29
75			59	30
80			60	31
85			61	32
90			62	33
95			62	33
100			63	34
105			65	36
110			65	36
115			66	37
120	6.28	54	66	37

Hijau				
t (m)	PH	T (°C)	H2	Hasil
0	6.11	27	34	0
5			37	3
10			42	8
15			45	11
20			49	15
25			50	16
30			54	20
35			57	23
40			60	26
45			63	29
50			67	33
55			72	38
60			75	41
65			78	44
70			82	48
75			85	51
80			88	54
85			93	59
90			98	64
95			101	67
100			105	71
105			109	75
110			112	78
115			117	83
120	6.5	50	122	88

Oranye				
t (m)	PH	T (°C)	H2	Hasil
0	5.94	28	26	0
5			28	2
10			29	3
15			33	7
20			34	8
25			36	10
30			39	13
35			42	16
40			44	18
45			45	19
50			45	19
55			47	21
60			49	23
65			51	25
70			53	27
75			55	29
80			58	32
85			60	34
90			60	34
95			61	35
100			66	40
105			68	42
110			71	45
115			71	45
120	6.46	53	73	47

Biru				
t (m)	PH	T (°C)	H2	Hasil
0	5.91	27	22	0
5			26	4
10			28	6
15			32	10
20			35	13
25			39	17
30			42	20
35			45	23
40			48	26
45			51	29
50			55	33
55			58	36
60			61	39
65			64	42
70			67	45
75			70	48
80			73	51
85			76	54
90			79	57
95			81	59
100			83	61
105			84	62
110			88	66
115			90	68
120	6.34	50.5	92	70

Kuning				
t (m)	PH	T (°C)	H2	Hasil
0	6.13	28	26	0
5			30	4
10			34	8
15			38	12
20			42	16
25			46	20
30			50	24
35			55	29
40			58	32
45			63	37
50			67	41
55			70	44
60			73	47
65			77	51
70			80	54
75			76	50
80			75	49
85			76	50
90			75	49
95			79	53
100			83	57
105			85	59
110			89	63
115			90	64
120	6.43	53	90	64

Ungu				
t (m)	PH	T (°C)	H2	Hasil
0	6.04	27	20	0
5			23	3
10			27	7
15			31	11
20			35	15
25			38	18
30			41	21
35			44	24
40			47	27
45			49	29
50			51	31
55			54	34
60			56	36
65			58	38
70			60	40
75			62	42
80			63	43
85			65	45
90			66	46
95			67	47
100			69	49
105			69	49
110			70	50
115			71	51
120	6.29	52	71	51

- Pengujian 2

Merah				
t (m)	PH	T (°C)	H2	Hasil
0	5.78	27.5	27	0
5			29	2
10			31	4
15			34	7
20			36	9
25			39	12
30			41	14
35			43	16
40			44	17
45			47	20
50			49	22
55			50	23
60			52	25
65			53	26
70			54	27
75			56	29
80			56	29
85			58	31
90			59	32
95			60	33
100			61	34
105			63	36
110			64	37
115			65	38
120	6.16	52	66	39

Hijau				
t (m)	PH	T (°C)	H2	Hasil
0	5.95	28	36	0
5			40	4
10			45	9
15			49	13
20			53	17
25			58	22
30			63	27
35			67	31
40			71	35
45			75	39
50			80	44
55			84	48
60			88	52
65			91	55
70			95	59
75			99	63
80			102	66
85			105	69
90			109	73
95			113	77
100			116	80
105			120	84
110			124	88
115			126	90
120	6.39	52	128	92

Oranye				
t (m)	PH	T (°C)	H2	Hasil
0	6.05	28	25	0
5			28	3
10			30	5
15			33	8
20			36	11
25			38	13
30			41	16
35			43	18
40			45	20
45			48	23
50			50	25
55			52	27
60			54	29
65			56	31
70			58	33
75			60	35
80			62	37
85			64	39
90			66	41
95			68	43
100			69	44
105			71	46
110			72	47
115			73	48
120	6.53	53	74	49

Biru				
t (m)	PH	T (°C)	H2	Hasil
0	6.12	27.5	23	0
5			27	4
10			32	9
15			36	13
20			40	17
25			45	22
30			49	26
35			53	30
40			57	34
45			61	38
50			65	42
55			69	46
60			72	49
65			75	52
70			78	55
75			79	56
80			81	58
85			83	60
90			86	63
95			88	65
100			90	67
105			92	69
110			94	71
115			97	74
120	6.43	51	97	74

Kuning				
t (m)	PH	T (°C)	H2	Hasil
0	5.92	27	22	0
5			25	3
10			28	6
15			31	9
20			34	12
25			36	14
30			38	16
35			41	19
40			44	22
45			46	24
50			49	27
55			53	31
60			55	33
65			57	35
70			60	38
75			62	40
80			66	44
85			68	46
90			71	49
95			74	52
100			76	54
105			77	55
110			79	57
115			82	60
120	6.24	52	85	63

Ungu				
t (m)	PH	T (°C)	H2	Hasil
0	5.94	27	28	0
5			31	3
10			35	7
15			39	11
20			43	15
25			46	18
30			49	21
35			52	24
40			55	27
45			57	29
50			59	31
55			62	34
60			64	36
65			66	38
70			68	40
75			70	42
80			71	43
85			72	44
90			75	47
95			78	50
100			81	53
105			83	55
110			85	57
115			88	60
120	6.32	54	89	61

- Pengujian 3

Merah				
t (m)	PH	T (°C)	H2	Hasil
0	6.21	26	25	0
5			27	2
10			29	4
15			31	6
20			33	8
25			36	11
30			38	13
35			40	15
40			41	16
45			42	17
50			44	19
55			46	21
60			48	23
65			50	25
70			52	27
75			54	29
80			56	31
85			58	33
90			59	34
95			60	35
100			61	36
105			62	37
110			63	38
115			64	39
120	6.71	51	64	39

Hijau				
t (m)	PH	T (°C)	H2	Hasil
0	6.36	27	40	0
5			45	5
10			51	11
15			55	15
20			60	20
25			66	26
30			71	31
35			78	38
40			84	44
45			91	51
50			96	56
55			101	61
60			106	66
65			111	71
70			115	75
75			118	78
80			120	80
85			121	81
90			124	84
95			126	86
100			128	88
105			131	91
110			131	91
115			132	92
120	6.64	54	133	93

Oranye				
t (m)	PH	T (°C)	H2	Hasil
0	6.1	27	30	0
5			32	2
10			35	5
15			37	7
20			40	10
25			42	12
30			44	14
35			47	17
40			49	19
45			51	21
50			53	23
55			56	26
60			59	29
65			61	31
70			63	33
75			65	35
80			67	37
85			69	39
90			71	41
95			73	43
100			75	45
105			76	46
110			77	47
115			78	48
120	6.57	52	78	48

Biru				
t (m)	PH	T (°C)	H2	Hasil
0	6.47	28	42	0
5			48	6
10			53	11
15			60	18
20			65	23
25			71	29
30			75	33
35			81	39
40			85	43
45			90	48
50			93	51
55			96	54
60			100	58
65			104	62
70			106	64
75			109	67
80			111	69
85			113	71
90			116	74
95			116	74
100			118	76
105			118	76
110			118	76
115			119	77
120	6.8	55.5	119	77

Kuning				
t (m)	PH	T (°C)	H2	Hasil
0	6.14	27	24	0
5			27	3
10			30	6
15			32	8
20			35	11
25			38	14
30			40	16
35			43	19
40			45	21
45			48	24
50			51	27
55			54	30
60			57	33
65			59	35
70			61	37
75			63	39
80			66	42
85			68	44
90			71	47
95			74	50
100			76	52
105			79	55
110			81	57
115			83	59
120	6.43	52	85	61

Ungu				
t (m)	PH	T (°C)	H2	Hasil
0	5.92	27	22	0
5			24	2
10			27	5
15			30	8
20			33	11
25			35	13
30			38	16
35			40	18
40			43	21
45			45	23
50			47	25
55			50	28
60			53	31
65			56	34
70			59	37
75			62	40
80			65	43
85			68	46
90			71	49
95			74	52
100			76	54
105			78	56
110			81	59
115			83	61
120	6.24	52	85	63

Lampiran 2 Data Hasil Pengujian Dengan Fotokatalis 50 ppm

• Pengujian 1

Merah				
t (m)	PH	T (°C)	H2	Hasil
0	6.09	27	14	0
5			16	2
10			17	3
15			19	5
20			21	7
25			22	8
30			24	10
35			25	11
40			27	13
45			28	14
50			30	16
55			31	17
60			32	18
65			34	20
70			35	21
75			36	22
80			37	23
85			38	24
90			39	25
95			40	26
100			40	26
105			41	27
110			41	27
115			41	27
120	6.51	56	41	27

Hijau				
t (m)	PH	T (°C)	H2	Hasil
0	6.28	27	26	0
5			29	3
10			32	6
15			34	8
20			37	11
25			39	13
30			42	16
35			45	19
40			48	22
45			51	25
50			54	28
55			57	31
60			59	33
65			62	36
70			63	37
75			65	39
80			68	42
85			69	43
90			70	44
95			71	45
100			73	47
105			75	49
110			75	49
115			76	50
120	6.84	52	77	51

Oranye				
t (m)	PH	T (°C)	H2	Hasil
0	6.24	27	17	0
5			19	2
10			21	4
15			23	6
20			25	8
25			27	10
30			29	12
35			31	14
40			32	15
45			34	17
50			36	19
55			37	20
60			39	22
65			40	23
70			41	24
75			43	26
80			44	27
85			45	28
90			46	29
95			47	30
100			47	30
105			48	31
110			48	31
115			49	32
120	6.71	54	50	33

Biru				
t (m)	PH	T (°C)	H2	Hasil
0	6.04	28	27	0
5			29	2
10			32	5
15			34	7
20			36	9
25			38	11
30			40	13
35			42	15
40			44	17
45			45	18
50			48	21
55			50	23
60			51	24
65			53	26
70			54	27
75			56	29
80			57	30
85			59	32
90			61	34
95			62	35
100			63	36
105			64	37
110			65	38
115			67	40
120	6.29	50	70	43

Kuning				
t (m)	PH	T (°C)	H2	Hasil
0	6.47	28	25	0
5			27	2
10			29	4
15			30	5
20			32	7
25			35	10
30			37	12
35			39	14
40			40	15
45			42	17
50			44	19
55			46	21
60			48	23
65			49	24
70			51	26
75			53	28
80			55	30
85			56	31
90			58	33
95			59	34
100			60	35
105			61	36
110			62	37
115			62	37
120	6.92	53	64	39

Ungu				
t (m)	PH	T (°C)	H2	Hasil
0	6.31	27	23	0
5			26	3
10			29	6
15			31	8
20			34	11
25			37	14
30			40	17
35			42	19
40			44	21
45			46	23
50			48	25
55			51	28
60			52	29
65			54	31
70			56	33
75			57	34
80			58	35
85			60	37
90			61	38
95			62	39
100			62	39
105			64	41
110			64	41
115			65	42
120	6.73	51	65	42

- Pengujian 2

Merah				
t (m)	PH	T (°C)	H2	Hasil
0	5.83	27	23	0
5			25	2
10			26	3
15			28	5
20			29	6
25			31	8
30			32	9
35			34	11
40			35	12
45			36	13
50			38	15
55			39	16
60			41	18
65			42	19
70			42	19
75			43	20
80			45	22
85			45	22
90			46	23
95			47	24
100			47	24
105			48	25
110			48	25
115			49	26
120	6.47	52	49	26

Hijau				
t (m)	PH	T (°C)	H2	Hasil
0	5.8	26	24	0
5			27	3
10			30	6
15			33	9
20			36	12
25			38	14
30			40	16
35			43	19
40			46	22
45			49	25
50			52	28
55			55	31
60			58	34
65			61	37
70			64	40
75			67	43
80			70	46
85			72	48
90			75	51
95			77	53
100			79	55
105			81	57
110			84	60
115			86	62
120	6.57	52	87	63

Oranye				
t (m)	PH	T (°C)	H2	Hasil
0	5.9	26	13	0
5			15	2
10			16	3
15			18	5
20			19	6
25			21	8
30			23	10
35			25	12
40			27	14
45			29	16
50			30	17
55			32	19
60			34	21
65			35	22
70			36	23
75			37	24
80			38	25
85			39	26
90			40	27
95			41	28
100			41	28
105			43	30
110			43	30
115			44	31
120	6.22	53	45	32

Biru				
t (m)	PH	T (°C)	H2	Hasil
0	6.05	27.5	28	0
5			31	3
10			33	5
15			36	8
20			39	11
25			44	16
30			48	20
35			52	24
40			55	27
45			55	27
50			55	27
55			56	28
60			57	29
65			59	31
70			62	34
75			64	36
80			66	38
85			68	40
90			69	41
95			71	43
100			71	43
105			73	45
110			74	46
115			74	46
120	6.89	54.5	75	47

Kuning				
t (m)	PH	T (°C)	H2	Hasil
0	5.95	29	19	0
5			21	2
10			23	4
15			25	6
20			27	8
25			28	9
30			30	11
35			32	13
40			33	14
45			35	16
50			36	17
55			38	19
60			39	20
65			41	22
70			42	23
75			44	25
80			45	26
85			47	28
90			48	29
95			50	31
100			52	33
105			54	35
110			56	37
115			56	37
120	6.58	54	57	38

Ungu				
t (m)	PH	T (°C)	H2	Hasil
0	6.07	27	21	0
5			23	2
10			25	4
15			27	6
20			29	8
25			32	11
30			34	13
35			36	15
40			38	17
45			40	19
50			42	21
55			44	23
60			46	25
65			49	28
70			51	30
75			52	31
80			54	33
85			55	34
90			56	35
95			57	36
100			58	37
105			59	38
110			60	39
115			61	40
120	6.46	56	62	41

- Pengujian 3

Merah				
t (m)	PH	T (°C)	H2	Hasil
0	6.27	27	21	0
5			22	1
10			24	3
15			26	5
20			27	6
25			28	7
30			29	8
35			30	9
40			32	11
45			33	12
50			34	13
55			35	14
60			36	15
65			37	16
70			37	16
75			39	18
80			39	18
85			40	19
90			41	20
95			41	20
100			44	23
105			46	25
110			46	25
115			47	26
120	6.75	50.5	47	26

Hijau				
t (m)	PH	T (°C)	H2	Hasil
0	6.26	27.5	31	0
5			35	4
10			39	8
15			45	14
20			49	18
25			53	22
30			58	27
35			61	30
40			65	34
45			68	37
50			71	40
55			73	42
60			77	46
65			79	48
70			81	50
75			83	52
80			85	54
85			87	56
90			88	57
95			88	57
100			90	59
105			90	59
110			91	60
115			92	61
120	6.63	54	92	61

Oranye				
t (m)	PH	T (°C)	H2	Hasil
0	6.07	27	23	0
5			24	1
10			26	3
15			28	5
20			31	8
25			34	11
30			36	13
35			39	16
40			40	17
45			42	19
50			44	21
55			46	23
60			47	24
65			49	26
70			50	27
75			50	27
80			50	27
85			50	27
90			51	28
95			52	29
100			54	31
105			54	31
110			55	32
115			56	33
120	6.81	49	57	34

Biru				
t (m)	PH	T (°C)	H2	Hasil
0	6.01	27	26	0
5			29	3
10			31	5
15			35	9
20			37	11
25			40	14
30			43	17
35			47	21
40			50	24
45			52	26
50			55	29
55			57	31
60			60	34
65			63	37
70			64	38
75			66	40
80			68	42
85			69	43
90			71	45
95			72	46
100			72	46
105			73	47
110			74	48
115			75	49
120	6.55	54	76	50

Kuning				
t (m)	PH	T (°C)	H2	Hasil
0	6.47	28	25	0
5			27	2
10			29	4
15			30	5
20			32	7
25			35	10
30			37	12
35			39	14
40			40	15
45			42	17
50			44	19
55			46	21
60			48	23
65			49	24
70			51	26
75			53	28
80			55	30
85			56	31
90			58	33
95			59	34
100			60	35
105			61	36
110			62	37
115			62	37
120	6.89	53	64	39

Ungu				
t (m)	PH	T (°C)	H2	Hasil
0	6.04	28	27	0
5			30	3
10			32	5
15			35	8
20			38	11
25			40	13
30			43	16
35			44	17
40			46	19
45			48	21
50			50	23
55			51	24
60			55	28
65			56	29
70			56	29
75			57	30
80			58	31
85			59	32
90			61	34
95			63	36
100			64	37
105			65	38
110			68	41
115			69	42
120	6.29	50	70	43

Lampiran 3 Source Code Pemrograman Sensor MQ-8 di Arduino Uno R3

.....;*****Demo for MQ-8 Gas Sensor Module

V1.0*****

Contact: support[at]sandboxelectronics.com

Lisence: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported (CC BY-NC-SA 3.0)

Note: This piece of source code is supposed to be used as a demonstration ONLY. More sophisticated calibration is required for industrial field application.

Sandbox Electronics 2014-02-03

*****/

/******Hardware Related

Macros*****/

#define MQ_PIN (0) //define which analog input channel you are going to use

#define RL_VALUE (10) //define the load resistance on the board, in kilo ohms

#define RO_CLEAN_AIR_FACTOR (9.21)

//RO_CLEAR_AIR_FACTOR=(Sensor resistance in clean air)/RO,

//which is derived from the chart in datasheet

/******Software Related

Macros*****/

#define CALIBARAION_SAMPLE_TIMES (50) //define how many samples you are going to take in the calibration phase

#define CALIBRATION_SAMPLE_INTERVAL (500) //define the time interal(in milisecond) between each samples in the

//cablibration phase

#define READ_SAMPLE_INTERVAL (50) //define how many samples you are going to take in normal operation

```

#define READ_SAMPLE_TIMES (5) //define the time interval(in
millisecond) between each samples in
//normal operation

***** Application Related
Macros*****/

#define GAS_H2 (0)

/*****Globals*****/
*****/

float H2Curve[3] = {2.3, 0.93, -1.44}; //two points are taken from the curve in
datasheet.

//with these two points, a line is formed which is "approximately equivalent"
//to the original curve.

//data format:{ x, y, slope}; point1: (lg200, lg8.5), point2: (lg10000, lg0.03)

float Ro = 10; //Ro is initialized to 10 kilo ohms

void setup()
{
  Serial.begin(9600); //UART setup, baudrate = 9600bps
  Serial.print("Calibrating...\n");
  Ro = MQCalibration(MQ_PIN); //Calibrating the sensor. Please make sure
the sensor is in clean air
//when you perform the calibration
  Serial.print("Calibration is done...\n");
  Serial.print("Ro=");
  Serial.print(Ro);
  Serial.print("kohm");
  Serial.print("\n");
}

```

```

void loop()
{
  Serial.print("H2:");
  Serial.print(MQGetGasPercentage(MQRead(MQ_PIN) / Ro, GAS_H2));
  Serial.print("ppm");
  Serial.print("\n");
  delay(1000);
}

```

```

/***** MQResistanceCalculation

```

```

*****/

```

Input: raw_adc - raw value read from adc, which represents the voltage

Output: the calculated sensor resistance

Remarks: The sensor and the load resistor forms a voltage divider. Given the voltage across the load resistor and its resistance, the resistance of the sensor could be derived.

```

*****/

```

```

float MQResistanceCalculation(int raw_adc)

```

```

{
  return (((float)RL_VALUE * (1023 - raw_adc) / raw_adc));
}

```

```

/***** MQCalibration

```

```

*****/

```

Input: mq_pin - analog channel

Output: Ro of the sensor

Remarks: This function assumes that the sensor is in clean air. It use

MQResistanceCalculation to calculates the sensor resistance in clean air

and then divides it with RO_CLEAN_AIR_FACTOR. RO_CLEAN_AIR_FACTOR is about

10, which differs slightly between different sensors.

```

*****
*****/
float MQCalibration(int mq_pin)
{
  int i;
  float val = 0;
  for (i = 0; i < CALIBARAION_SAMPLE_TIMES; i++) { //take multiple samples
    val += MQResistanceCalculation(analogRead(mq_pin));
    delay(CALIBRATION_SAMPLE_INTERVAL);
  }
  val = val / CALIBARAION_SAMPLE_TIMES; //calculate the average value
  val = val / RO_CLEAN_AIR_FACTOR; //divided by
  RO_CLEAN_AIR_FACTOR yields the Ro
  //according to the chart in the datasheet
  return val;
}

```

```

***** MQRead
*****

```

Input: mq_pin - analog channel

Output: Rs of the sensor

Remarks: This function use MQResistanceCalculation to caculate the sensor resistenc (Rs).

The Rs changes as the sensor is in the different consentration of the target gas. The sample times and the time interval between samples could be configured by changing the definition of the macros.

```

*****
*****/
float MQRead(int mq_pin)

```

```

float MQRead(int mq_pin)

```

```

int i;
float rs = 0;

for (i = 0; i < READ_SAMPLE_TIMES; i++) {
    rs += MQResistanceCalculation(analogRead(mq_pin));
    delay(READ_SAMPLE_INTERVAL);
}

rs = rs / READ_SAMPLE_TIMES;

return rs;
}

```

/****** MQGetGasPercentage

Input: rs_ro_ratio - Rs divided by Ro

gas_id - target gas type

Output: ppm of the target gas

Remarks: This function passes different curves to the MQGetPercentage function which calculates the ppm (parts per million) of the target gas.

 *****/

```
int MQGetGasPercentage(float rs_ro_ratio, int gas_id)
```

```

{
    if ( gas_id == GAS_H2) {
        return MQGetPercentage(rs_ro_ratio, H2Curve);
    }
    return 0;
}

```

```

/***** MQGetPercentage

```

```

*****

```

```

Input: rs_ro_ratio - Rs divided by Ro

```

```

pcurve - pointer to the curve of the target gas

```

```

Output: ppm of the target gas

```

```

Remarks: By using the slope and a point of the line. The x(logarithmic value of ppm)

```

```

of the line could be derived if y(rs_ro_ratio) is provided. As it is a

```

```

logarithmic coordinate, power of 10 is used to convert the result to non-logarithmic

```

```

value.

```

```

*****

```

```

*****/

```

```

int MQGetPercentage(float rs_ro_ratio, float *pcurve)

```

```

{

```

```

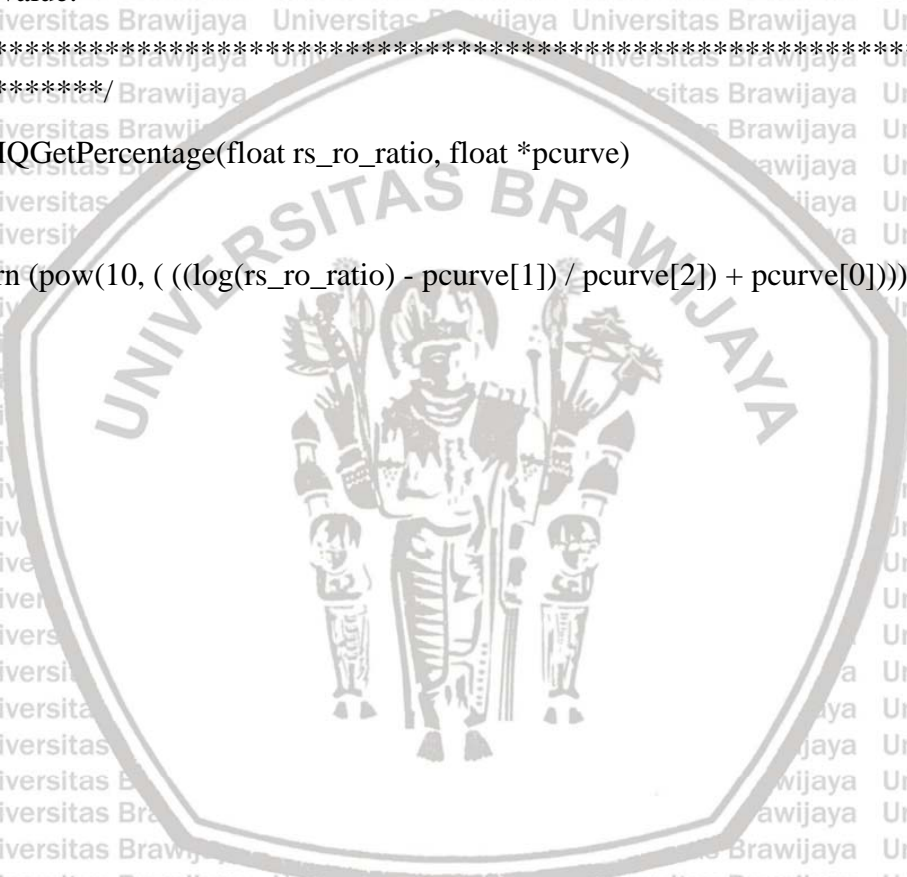
return (pow(10, (((log(rs_ro_ratio) - pcurve[1]) / pcurve[2]) + pcurve[0]]));

```

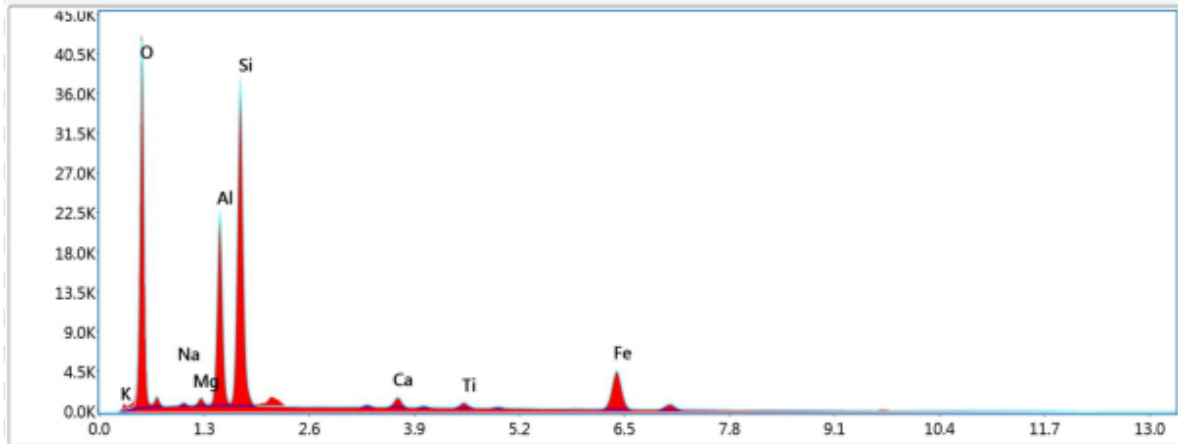
```

}

```




Lampiran 4 Hasil Uji EDS



Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	A	F
K L	0.00	0.00	0.00	99.99	0.0000	0.9122	0.3798	1.0000
O K	46.97	63.43	2917.12	7.64	0.1732	1.0678	0.3453	1.0000
NaK	0.52	0.49	28.52	14.43	0.0015	0.9714	0.2980	1.0018
MgK	0.71	0.63	72.74	9.54	0.0032	0.9883	0.4463	1.0034
AlK	14.28	11.43	1888.78	5.30	0.0809	0.9521	0.5928	1.0038
SiK	24.15	18.58	3312.17	5.20	0.1401	0.9732	0.5952	1.0016
CaK	1.35	0.73	136.19	4.46	0.0117	0.9198	0.9196	1.0237
TiK	0.87	0.39	80.09	6.37	0.0073	0.8340	0.9648	1.0467
FeK	11.14	4.31	643.27	2.19	0.0949	0.8208	1.0022	1.0351



Lampiran 5 Hasil uji Spektrofotometer UV-Vis

Sampel UV177 = Zeolit

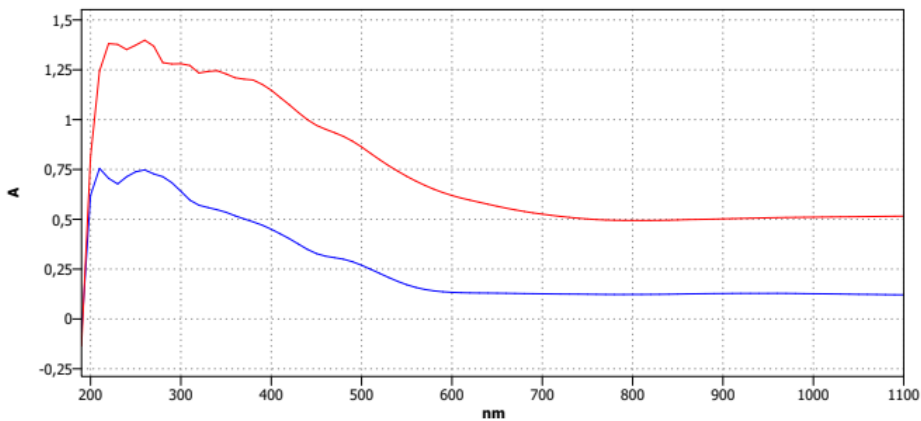
Sampel UV178 = Gerabah

30/04/2021, 11:15:19

ASpectUV - 1.2.3.6173

analytikjena

Worksheet: **New worksheet**



No.	Type	Color Name	Date/Time	Note
1	S	UV177	30/04/2021, 11:04:34	
2	S	UV178	30/04/2021, 11:09:13	

Measure values



30/04/2021, 11:15:19

ASpectUV - 1.2.3.6173

analytikjena

	190,00	200,00	210,00	220,00	230,00	240,00	250,00	260,00	270,00	280,00	290,00
UV177	-0,0657	0,6202	0,7554	0,7056	0,6774	0,7134	0,7386	0,7479	0,7278	0,7136	0,6839
UV178	-0,1350	0,8119	1,2435	1,3811	1,3774	1,3517	1,3737	1,3984	1,3688	1,2862	1,2791

	300,00	310,00	320,00	330,00	340,00	350,00	360,00	370,00	380,00	390,00	400,00
UV177	0,6409	0,5961	0,5708	0,5590	0,5482	0,5353	0,5176	0,5019	0,4873	0,4709	0,4502
UV178	1,2806	1,2717	1,2340	1,2418	1,2455	1,2293	1,2104	1,2029	1,1990	1,1768	1,1477

	410,00	420,00	430,00	440,00	450,00	460,00	470,00	480,00	490,00	500,00	510,00
UV177	0,4273	0,4029	0,3761	0,3495	0,3283	0,3153	0,3078	0,2998	0,2872	0,2697	0,2496
UV178	1,1111	1,0747	1,0359	1,0001	0,9715	0,9520	0,9347	0,9158	0,8919	0,8631	0,8305

	520,00	530,00	540,00	550,00	560,00	570,00	580,00	590,00	600,00	610,00	620,00
UV177	0,2288	0,2081	0,1887	0,1718	0,1583	0,1481	0,1411	0,1365	0,1335	0,1318	0,1309
UV178	0,7989	0,7693	0,7416	0,7157	0,6920	0,6704	0,6511	0,6342	0,6194	0,6069	0,5961

	630,00	640,00	650,00	660,00	670,00	680,00	690,00	700,00	710,00	720,00	730,00
UV177	0,1304	0,1300	0,1296	0,1290	0,1282	0,1274	0,1267	0,1263	0,1258	0,1254	0,1250
UV178	0,5880	0,5757	0,5658	0,5562	0,5473	0,5393	0,5322	0,5260	0,5201	0,5146	0,5097

	740,00	750,00	760,00	770,00	780,00	790,00	800,00	810,00	820,00	830,00	840,00
UV177	0,1246	0,1242	0,1237	0,1231	0,1229	0,1229	0,1230	0,1231	0,1232	0,1235	0,1241
UV178	0,5054	0,5017	0,4988	0,4966	0,4951	0,4943	0,4941	0,4942	0,4943	0,4946	0,4955

	850,00	860,00	870,00	880,00	890,00	900,00	910,00	920,00	930,00	940,00	950,00
UV177	0,1250	0,1258	0,1264	0,1269	0,1273	0,1278	0,1282	0,1285	0,1285	0,1285	0,1285
UV178	0,4969	0,4984	0,4994	0,5001	0,5010	0,5022	0,5034	0,5045	0,5055	0,5068	0,5078

	960,00	970,00	980,00	990,00	1000,00	1010,00	1020,00	1030,00	1040,00	1050,00	1060,00
UV177	0,1286	0,1284	0,1278	0,1272	0,1266	0,1262	0,1257	0,1251	0,1244	0,1237	0,1232
UV178	0,5085	0,5092	0,5098	0,5104	0,5110	0,5115	0,5119	0,5123	0,5128	0,5132	0,5138

	1070,00	1080,00	1090,00	1100,00
UV177	0,1227	0,1221	0,1213	0,1212
UV178	0,5143	0,5149	0,5155	0,5161



