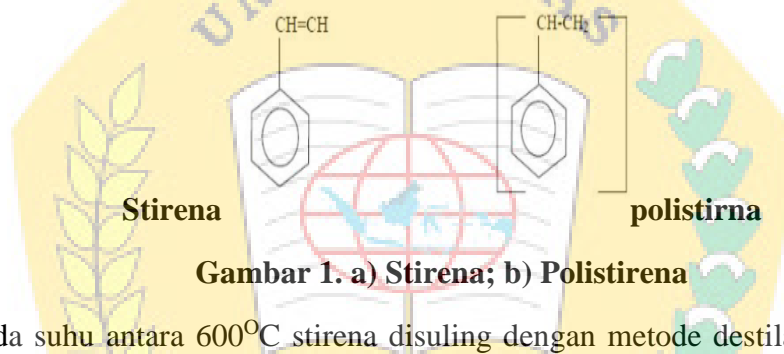


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Polistirena

Polistirena pertama kali ditemukan oleh Edward Simon pada tahun 1833, beliau merupakan seorang apoteker Jerman. Polistirena merupakan sebuah polimer yang memiliki monomer stirena melalui reaksi polimerisasi radikal. Pada suhu ruang, polistirena memiliki sifat termoplastik padat dan dapat mencair pada suhu lebih tinggi. (Inagaki and Kiuchi 2001). Polistirena merupakan molekul yang memiliki berat molekul ringan, terbentuk dari monomer stirena yang berbau harum. Polistirena merupakan polimer hidrokarbon parafin yang terbentuk dengan cara reaksi polimerisasi. Struktur polistirena di tunjukan pada gambar 1.1.



Gambar 1. a) Stirena; b) Polistirena

Pada suhu antara 600°C stirena disuling dengan metode destilasi maka akan didapatkan polistirena. Polistirena berbentuk padatan murni yang tidak berwarna, bersifat ringan, keras, tahan panas, agak kaku, tidak mudah patah dan tidak beracun, memiliki kestabilan dimensi yang tinggi dan shrinkage yang rendah, tahan terhadap air/ bahan kimia non-organik/alkohol dan sangat mudah terbakar (Harper and Petrie 2003).

Polistirena atau polifinil etena dapat di polimerkan dengan panas, sinar matahari ataupun katalis. Derajat polimerisasi tergantung pada kondisi polimerisasi. Polimer yang sangat tinggi dapat dihasilkan dengan menekan diatas suhu ruangan. Tahan terhadap asam, basa dan zat pengarat (korosit) lainnya. Maka polistirena dapat diaplikasikan sebagai pembuatan membran untuk PEMFC karena sifat fisis dan kimianya yang cukup baik dan sedang diterapkan dalam teknologi membrane. Namun polistirena juga harus dimodifikasi terlebih dahulu sebelum diaplikasikan kedalam teknologi membrane dengan cara

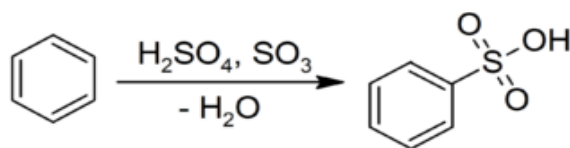
sulfonasi, yaitu penambahan gugus sulfonat (SO_3H) yang akan terikat pada polistirena.

2.2 Sulfonasi

Sulfonasi merupakan reaksi dengan tipe substitusi elektrofilik, dimana atom yang lebih elektronegatif seperti oksigen dengan kerapatannya elektron akan tertarik dengan atom sulfur yang kemudian akan menjadi suatu pusat elektrofilik. Pusat dari elektrofilik ini bereaksi dengan sistem elektron phi yang mengalami delokalisasi dari suatu cincin aromatik dengan posisi kerapatan elektron yang tinggi, yang akan mengontrol posisi dan tipe dari gugus fungsi lain yang berada di sekitar cincin aromatik. Reaksi Sulfonasi biasa sering terjadi apabila ada gugus, -Cl, $-\text{NH}_2$, $-\text{OH}$, $-\text{SH}$, karena dari gugus tersebut bisa lebih meningkatkan kerapatan pada cincin aromatik. Reaksi yang sering terjadi pada sulfonasi ini yaitu gugus SO_3H dapat memasuki cincin aromatik.

Metode prevarasi dari senyawa aromatik dengan massa molekul yang rendah maka akan dilakukan sulfonasi homogen dengan menggunakan larutan asam sulfat pekat H_2SO_4 sebagai agen sulfonasi. Metode lain yang biasa digunakan adalah sulfonasi heterogen yang digunakan untuk polimer dengan massa molekul yang lebih besar. Asam sulfat dengan cara kerjas $\text{SO}_3 - \text{H}_2\text{O}$ merupakan agen sulfonasi yang lebih sering digunakan karena memiliki sifat agen oksidatif dan agen dehidrasi untuk senyawa hidroksi. Sulfonasi akan bereaksi jika ditambah dengan larutan asam sulfat pekat. Asam sulfat adalah salah satu agen sulfonasi yang terbaik untuk senyawa aromatik.

Sulfonasi sebelumnya digunakan untuk senyawa dengan massa molekul yang sangat kecil, dan sulfonasi juga dapat digunakan dengan senyawa molekul yang besar contohnya senyawa polimer. Karena agen sulfonasi yang digunakan untuk senyawa polimer lebih tepat dengan reaksi yang digunakan. Reaksi sulfonasi bisa saja berubah karena untuk bisa mendapatkan hasil yang baik dari sulfonasi. Sulfonasi polimer bisa dilakukan dengan reaksi heterogen dan reaksi homogen didalam larutan. Pelarut-pelarut yang sering digunakan untuk sulfonasi yaitu, SO_3 , H_2SO_4 dan pelarut lainnya yang telah banyak digunakan peneliti untuk melakukan reaksi sulfonasi terkhusus untuk polistiren.



Skema 2.2 Reaksi Sulfonasi

2.2.1 Sulfonasi Homogen

Sulfonasi Homogen biasanya digunakan dimana fasa polimer sama dengan fasa agen sulfonasi. Jika polimer sebagai fasa cair maka agen sulfonasinya juga sama yaitu fasa cair. Sulfonasi homogen pertama kalinya yaitu penambahan kloroform dengan SO_3 sebagai agen sulfonasinya (Turbak 1962a). Polimer tersulfonasi yang diperoleh biasanya berwarna jernih dengan viskositas yang rendah. Polistiren tersulfonasi tidak bisa didapatkan dalam keadaan padat, maka harus dilakukan penyaringan lagi selama 1 jam, setelah ini dapat dipisahkan agen sulfonasi dan polistiren.

2.2.2 Sulfonasi Heterogen

Sulfonasi Heterogen berbeda dengan Sulfonasi Homogen. Mengapa?, karena (Turbak 1962b) sulfonasi heterogen lebih menguntungkan dibandingkan dengan sulfonasi homogen. Dan tidak perlu melakukan pemisahan pelarut. Berikut hasil reaksi dari sulfonasi heterogen:

1. Fasa Padat – Cair (Solid – Liquid)
2. Fasa padat – Gas (Solid – Gas)

dan bisa digunakan secara komersial di industri, karena cara pembuatan ion monomer tersulfonasinya yang murah dan mudah didapat seperti limbah dari polimer salah satunya. Metode penggunaan sulfonasi heterogen ini, jika dengan fasa padat – gas maka akan terbentuk ikatan silang dengan sampel butiran – butiran polistiren. Dimana asam sulfat digunakan untuk polistiren tersulfonasi.

Sulfonasi heterogen pada fasa padat – cair dengan polistiren sebagai substratnya, dimana polistiren dicampur dengan pelarut metanol. Sulfonasi polistiren dilakukan dengan penambahan H_2SO_4 , hasil yang diamati berbentuk seperti glatin yang tidak berwarna dan setelah dilakukan pengamatan selama 24 jam, tetapi tidak terjadi perubahan.

2.3 Polistiren Tersulfonasi

Polistiren tersulfonasi saat ini telah banyak dikembangkan hingga saat ini sebagai pengganti membrane alternatif pengganti Nafion untuk Fuel Cell karena nilai konduktivitas proton yang tinggi. Membrane polistiren tersulfonasi menggunakan gugus sulfonasi sebagai penghantar proton. Untuk bisa menghasilkan konduktivitas yang cukup baik, maka SPS harus memiliki tingkat sulfonasi yang tinggi. Yaitu dengan melakukan membuat polistiren tersulfonasi dengan konsentrasi yang sangat encer. Polistiren tersulfonasi (SPS) salah satu membrane pengganti Nafion, yang saat ini disebut sebagai PEM (*Proton Exchange Membrane*).

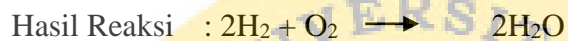
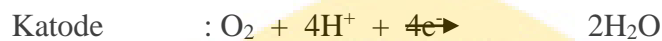
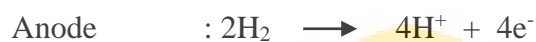
Bahan dasar yang digunakan yaitu *Polistirena* (PS) yang telah diproduksi sendiri oleh negara Indonesia dan harganya lebih murah, dan kemampuannya untuk sebagai pengganti pembuatan membrane sebagai sel bahan bakar (*fuel cell*) yang sangat menguntungkan.

PS yang dijadikan sebagai membrane dapat dilakukan dengan cara sulfonasi. Reaksi sulfonasi PS dengan cara metode heterogen telah dikembangkan sebelumnya di Lab. Pusat Penelitian Fisika (P2F)- LIPI, dengan cara mereaksikan serbuk PS dengan gas SO_3 . Metode yang digunakan ini lebih menguntungkan dibandingkan dengan metode homogen, karena reaksinya yang lebih efisien dan cukup cepat dan tidak perlu dilakukan pemisahan antara produk dan pelarut (Hendrana 2006). Sps juga memiliki absorpsi uap air yang rendah, sehingga sps digunakan sebagai bahan membrane anhidrat, tetapi gugus SO_3H hanya menempel pada struktur polistiren, yang menyulitkan gugus – gugus SO_3H bergabung untuk bisa membentuk jalur di dalam proses penghantar proton, karena adanya halangan sterik dari rantai utama (*backbone*). Telah diketahui bahwa mekanisme penghantar ion (proton) pada fuel cell yaitu melalui proses *tunneling* yang dibentuk oleh cluster gugus SO_3H dan air.

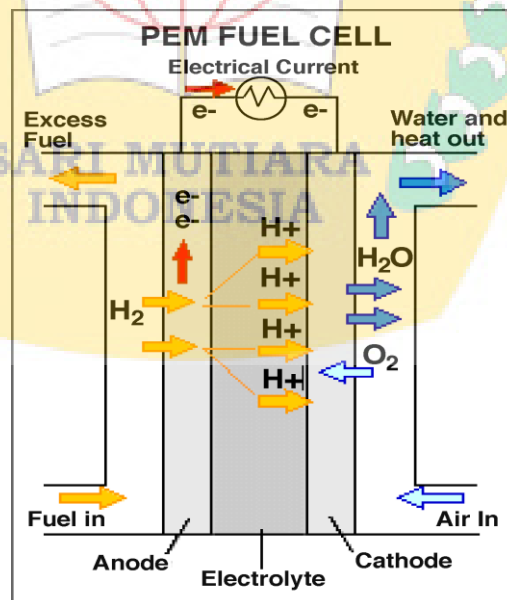
2.4 Proton Exchange Membrane (PEMFC)

Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) merupakan membran pertukaran proton yang hemat energi dan sumber daya yang lebih ramah

lingkungan (Larminie et al. 2003). Salah satu sumber energi yang sangat menjanjikan khususnya untuk menggantikan mesin – mesin pembakaran internal dalam kendaraan dan mesin portabel lainnya, karena sel bahan bakar membrane pertukaran proton ini memiliki daya kerapatan yang cukup tinggi. PEMFC akan lebih cepat mengalami perpindahan diantara kebutuhan daya yang diperlukan serta sangat cepat terjadinya proses inisiasinya. PEMFC merupakan reaksi elektrokimia yang berada di anoda dan katoda untuk pembangkit listrik yang menggunakan reaktan gas hidrogen, methanol dan ethanol (Kim et al. 2015). Dengan reaksi sebagai berikut



Ion hidrogen bergerak dari anoda ke katoda melalui membrane elektrolit dalam sel bahan bakar. Komponen utama pembuatan PEMFC adalah *polymer membrane elektrolit* (PEM) yang tidak hanya sebagai elektrolit untuk menghantar proton dari anoda ke katoda tetapi sebagai pembatas aliran elektron dan sel bahan bakar melalui membrane. Berikut adalah gambar ilustrasi kerja PEMFC



Gambar 2. Skema Kerja PEMFC

Saat ini PEMFC sedang dikembangkan untuk menggantikan Nafion yang diproduksi oleh perusahaan Dupont, karena Nafion yang memiliki polytetrafluoroethylene Nafion digunakan secara komersial karena tingginya konduktivitas

proton dan kekuatan termal dan kimia yang baik. Namun, Nafion juga memiliki beberapa kelemahan seperti biaya tinggi, toleransi CO rendah, dan kelelahan konduktivitas proton di suhu operasi yang lebih tinggi. Karena itu, peneliti mencoba mencapai membran elektrolit polimer yang stabil dengan konduktivitas proton tinggi, bahan bakar rendah / crossover air, tetapi yang baik stabilitas bahan kimia dan, sifat mekanik yang baik, dan biaya rendah pembuatan elektrolit membran. Salah satu cara dengan Sulfonasi dengan bahan polistiren yang sudah tersedia di Indonesia dan lebih murah dan memiliki keuntungan yang lebih tinggi (Chandan et al. 2013).

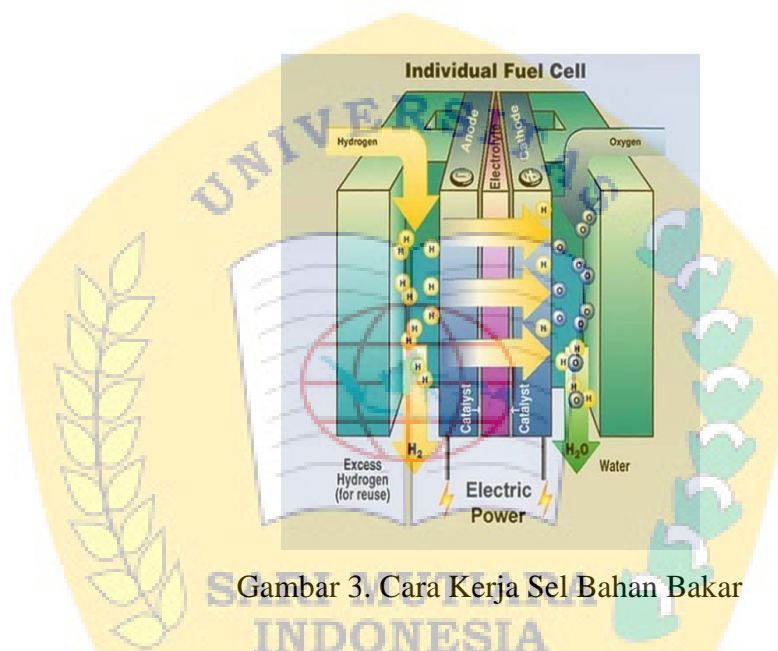
2.5 Teknik Karakterisasi Scanning Electro Microscopy (SEM)

Mikroskop pemindai elektron (Scanning Electron Microscopy; SEM) merupakan jenis mikroskop elektron yang menganalisa permukaan sampel oleh pemindaian dengan pancaran tinggi elektron. SEM adalah jenis mikroskop yang menggunakan elektron sebagai pengganti cahaya untuk dapat melihat benda dengan resolusi yang tinggi. Analisa SEM juga bermanfaat untuk bisa mengetahui mikrostruktur (termasuk porositas dan bentuk retakan) benda padat. Berkas sinar elektron yang dihasilkan dari filamen yang dipanaskan, disebut *electron gun*.

Percepatan elektron (*electron gun*) menghasilkan pancaran elektron monokromatis. Lensa pemfokus pertama menghasilkan pancaran dan batas ruas, pada celah lensa fungsinya untuk mengurangi pembelokan sudut. Lensa pemokus kedua membentuk pelemahan (pancaran sinar koheren), celah lensanya dikendalikan sebagai pengurangan untuk pembelokan sudut dari pancaran lensa pertama. Pancaran yang dilewati pada lensa kedua akan mengalami proses scan oleh koil penyearah sebagai pembentuk gambar dan diteruskan ke lensa akhir dan difokuskan pada sampel. Interaksi pada pancaran elektron dengan sampel dan elektron yang dipantulkan dan diterima oleh detektor. Detektor akan mulai menghitung elektron-elektron yang diterima dan menampilkan intensitasnya. Energy Dispersive X-Ray (EDXA) merupakan perangkat yang sama dengan SEM. Pengukuran EDXA adalah perangkat analisa secara kuantitatif untuk menentukan kadar unsur dalam sampel.

2.6 Fuel Cell

Sel bahan bakar merupakan perangkat elektrokimia yang mengubah energi kimia menjadi reaksi redoks dan menghasilkan energi listrik. Yang menggunakan hidrogen dan oksigen untuk bereaksi karena operasi jangka panjang sel bahan bakar dapat terus-menerus berlangsung selama bahan bakarnya dapat terus dipasok yaitu hidrogen dan oksigen. Gas hidrogen dan oksigen secara elektrokimia akan menghasilkan air sebagai emisinya (Cook 2002; Chen et al. 2005b). Setiap sel bahan bakar memiliki elektroda Positif (Katoda) dan elektroda Negatif (Anoda) (Chen et al. 2005a)



Gambar 3. Cara Kerja Sel Bahan Bakar

Cara kerja dari sel bahan bakar yaitu hidrogen yang berada didalam sel akan dialirkan menuju sisi anoda dan oksigen yang berada di udara akan dialirkan menuju sisi katoda. Pada anoda akan terjadi pemisahan hidrogen menjadi elektron dan proton (ion hidrogen). Setelah itu ion hidrogen akan menyeberang dan bertemu dengan oksigen dan elektron di katoda akan menghasilkan emisinya yaitu air. Elektro – elektron yang memiliki muatan listrik ini akan dialirkan menuju katoda dengan jaringan eksternal. Aliran elektron inilah yang akan menghasilkan arus listrik yang dapat digunakan dan ramah lingkungan.

Sel bahan bakar memiliki beberapa kelebihan yaitu, memiliki efisiensi yang sangat tinggi, ramah lingkungan (tidak berisik, emisinya rendah), limbah yang dihasilkan juga adalah air (Sridhar 2006). Sel bahan bakar di klasifikasikan

berdasarkan beberapa faktor berikut yaitu, kondisi operasi (suhu, tekanan dan kelembaban), struktur sel bahan bakar (skala aplikasi dan sistemnya) dan sifat elektrolit polimer dalam sel bahan bakar (Wong et al. 2019) berdasarkan klasifikasinya ada lima jenis tipe sel bahan bakar yang salah satunya adalah *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) yang dipilih untuk digunakan di dalam sel bahan bakar karena memiliki sifat yang lebih menguntungkan yaitu dapat meminimalisir korosi yang akan terjadi selama proses sel bahan bakar berlangsung.

