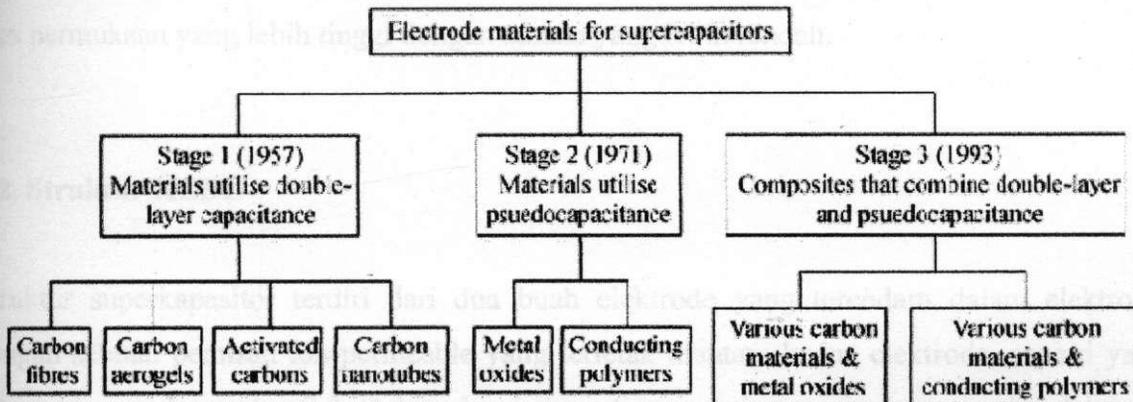


BAB II. STUDI PUSTAKA DAN ROADMAP

2.1. Pengenalan

Supercapacitor atau ultracapacitor (E. Frankowiak, et al. 2001) adalah istilah yang digunakan untuk komponen elektrik yang mempunyai nilai kapasitan mencapai ribuan farad. Dikarenakan nilai kapasitannya, supercapacitor menjadi peralatan elektrik yang dipilih untuk penyimpanan tenaga. Perbandingan supercapacitor dengan baterai sebagai penyimpan tenaga listrik mempunyai nilai negatif dan positif. Salah satu kekurangan supercapacitor adalah penyimpanan tenaga spesifik yang relatif rendah (R. Kotz, et al. 2000). Komemersial produk supercapacitor mempunyai spesifik energi dibawah 10 Wh kg^{-1} , lebih rendah jika dibandingkan dengan baterai yaitu $35\text{--}40 \text{ Wh kg}^{-1}$, untuk lead-acid battery, tetapi untuk litium ion battery dapat mencapai 150 Wh kg^{-1} . Supercapacitor mempunyai spesifik daya yang lebih tinggi dari betterai. Sisi positif lain adalah siklus hidup yang lebih tinggi, dapat dioperasikan pada range temperatur yang lebih besar dan cas dan dis cas yang cepat.



Gambar 2.1: Perkembangan penyelidikan bahan elektroda superkapasitor.

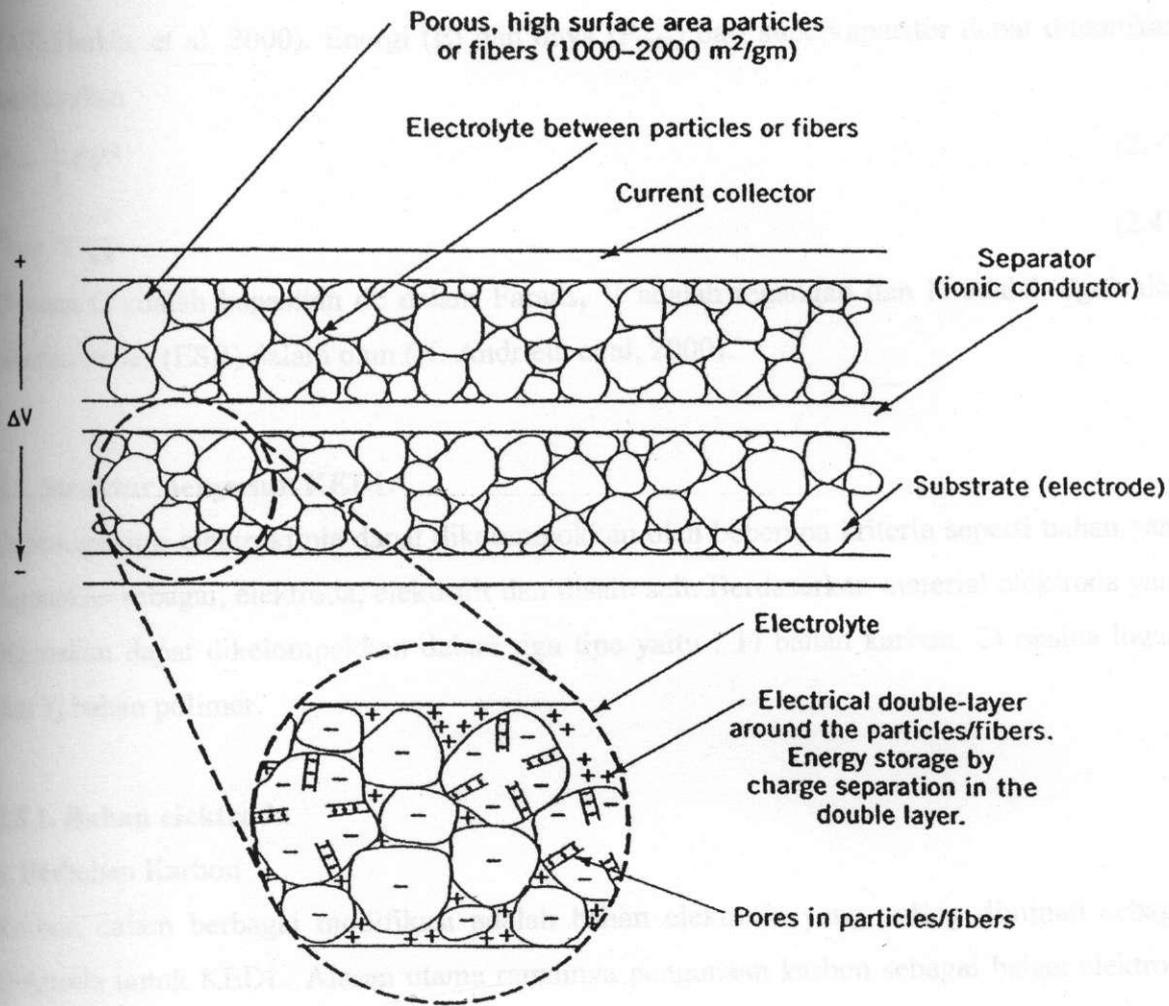
Penyelidikan pada supercapacitor dapat dibagi dalam dua kelompok berdasarkan pada mode penyimpanan energi yang disebut: 1) supercapacitor redox dan 2) kapasitor elektrokimia dua lapisan. Pada supercapacitor redox (juga dikenal dengan istilah pseudocapacitor), sebuah tipe transfer muatan reversibel Faradaic yang menghasilkan kapasitan, yang bukan elektrostatik asal (sehingga diberi awalan 'pseudo' yang membedakan dari kapasitan electric statik). Kapasitan diasosiasikan dengan sebuah proses elektrokimia cas transfer yang mempunyai nilai lebih menggunakan material aktif tertentu (B.E. Conway, 1999). Kelompok material pseudocapacitive yang paling dikenal adalah oksida logam

transisi (yang paling populer adalah oksida ruthenium) dan polymer conducting seperti polyaniline, polypyrrole atau turunan polythiopene (C. Peng, et al. 2008). Sedangkan, penyimpanan tenaga pada kapasitor elektrokimia dua lapisan (KEDL) hampir menyerupai kapasitor tradisional yaitu melalui pemisahan muatan. Supercapacitor dapat menyimpan lebih banyak tenaga per unit masa atau volume dari pada kapasitor konvensional karena: 1) pemisahan muatan terjadi pada jarak yang sangat kecil pada KEDL yang terjadi pada perbatasan elektoda dan elektrolit (B.E. Conway, 1999), 2) jumlah muatan yang dapat tersimpan dapat ditingkatkan dengan luas permukaan yang tinggi (terjadi karena jumlah pori yang besar dalam material elektrode dengan luas permukaan yang besar). Mekanisme penyimpanan tenaga berlangsung secara cepat karena melibatkan perpindahan ion dari dan keluar permukaan elektrode.

Supercapacitor jenis KEDL adalah kategori supercapacitor yang sangat maju dikembangkan. Carbon dalam berbagai bentuk, secara intensive terus di kaji dan digunakan secara meluas sebagai material elektrode pada KEDL yang pengembangannya di fokuskan pada pencapaian luas permukaan yang lebih tinggi dengan tahanan yang lebih rendah.

2.2. Struktur KEDL

Struktur superkapasitor terdiri dari dua buah elektrode yang terendam dalam elektrolit, dengan sebuah pemisah ion-permeable yang terletak diantara kedua elektroda, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2. Dalam devais seperti itu, masing-masing antar muka elektrode elektrolit mewakili sebuah kapasitor sehingga sebuah sell lengkap dapat dipandang sebagai dua kapasitor disusun secara series. Untuk kapasitor simetris (elektrode yang sama), kapasitan sell, ditunjukkan sebagai :



Gambar 2.2. Struktur superkapasitor

$$\frac{1}{C_{Cell}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad (2.1)$$

Dimana C_1 dan C_2 mewakili kapasitan untuk elektrod pertama dan kedua (X. Andrieu, et al, 2000). Sedangkan nilai literature dari kapasitan spesifik selalu dipilih sebagai kapasitan satu elektroda, biasanya di peroleh dari pengukuran menggunakan tiga elektrode yang melibatkan referen dan konter elektrode (D. Qu, et al. 1988). Kapasitan dwi-lapisan, C_{dl} , pada masing-masing antara muka elektrod ditunjukkan dengan rumusan

$$C_{dl} = \frac{\epsilon A}{4\pi t} \quad (2.2)$$

Dimana ϵ adalah konstanta dielektrik dari daerah dwi-lapisan, A adalah luas permukaan dari elektroda dan t adalah tebal dari dwi-lapisan elektrik. Pada kapasitor dwi-lapisan, merupakan kombinasi dari luas permukaan yang tinggi (biasanya $> 1500 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$) dengan pemisahan muatan yang sangat kecil (Angstroms) yang dapat menghasilkan kapasitan yang tinggi

(A.K.Shukla, et al, 2000). Energi (E) dan daya (P_{max}) dari superkapasitor dapat ditentukan berdasarkan

$$E = \frac{1}{2} CV^2 \quad (2.3)$$

$$P_{max} = \frac{V^2}{4R} \quad (2.4)$$

Dimana C adalah kapasitan dc dalam Farads, V adalah tegangan dan R adalah ekuivalen tahanan series (ESR) dalam ohm (X. Andrieu, et al, 2000).

2.3. Struktur penyusun KEDL

Superkapasitor elektrokimia dapat dikelompokkan oleh beberapa kriteria seperti bahan yang digunakan sebagai, elektroda, elektrolit dan disain sell. Berdasarkan material elektroda yang digunakan dapat dikelompokkan dalam tiga tipe yaitu : 1) bahan karbon, 2) oksida logam dan 3) bahan polimer.

2.3.1. Bahan elektroda

a. Berbahan Karbon

Karbon dalam berbagai modifikasi adalah bahan elektroda yang paling diminati sebagai elektroda untuk KEDL. Alasan utama ramainya penggunaan karbon sebagai bahan elektroda adalah, seperti: 1) harga yang relatif murah, 2) luas permukaan yang besar, 3) mudah diperoleh, 4) teknologi produksi sudah berkembang. Karbon mempunyai luas permukaan yang besar hingga lebih dari $2500 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ dalam bentuk serbuk, woven cloths, felts, atau fiber.

b. Oksida logam

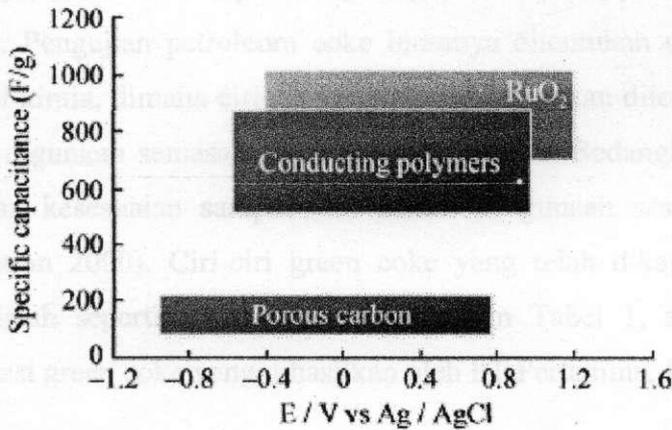
Konduktif oksida logam seperti RuO_2 atau ZnO adalah sangat disukai sebagai material elektro superkapasitor untuk aplikasi ruang angkasa dan militer. Spesifik kapasitan yang tinggi dan nilai tahanan yang rendah menghasilkan daya spesifik yang sangat tinggi. Superkapasitor jenis ini mempunyai harga yang sangat mahal dan hanya sesuai untuk agueos elektrolit dengan tegangan yang terbatas hingga 1.4 V. Berbagai usaha sedang giat dilakukan untuk tetap memanfaatkan sifat dasar bahan jenis ini dengan harga yang relatif murah.

c. Polymer

Bahan polymer seperti p dan n-dopable poly(3-arylthiophene), p-doped poly(pyrole), poly(3-methylthiophane) atau poly(1.5-diaminoanthraquinone) telah di selidiki oleh beberapa

peneliti (X. Ren, et al, 1996, C. Arbizzani, et al, 1996, K. Naoi, 1998) sebagai elektroda pada superkapasitor.

Secara umum nilai kapasitas spesifik elektroda kapasitor yang telah dibicarakan diatas terhadap nilai tegangan ditunjukkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. Kapasitas spesifik elektroda superkapasitor Vs tegangan

2.3.2. Elektrolit

Kriteria yang lain untuk membedakan kapasitor elektrokimia adalah jenis elektrolit yang digunakan. Jenis elektrolit yang digunakan dapat dikelompokkan kepada 1) Organik dan 2) Aqueous.

a. Organik elektrolit

Keuntungan pemakaian organik elektrolit adalah tegangan yang relatif lebih tinggi. Berdasarkan rumus (2.3) daya dua dari tegangan suatu sell menentukan maksimum energi yang dapat di simpan. Organik elektrolit memungkinkan tegangan suatu sell sampai 2.7 V. Voltase dari sebuah sell ditentukan oleh kandungan air dari suatu elektrolit. Disisi lain penggunaan organik elektrolit mempunyai tahanan spesifik yang relatif tinggi. Tahanan elektrolit yang lebih tinggi juga berdampak pada equivalen distrisbusi tahanan permukaan poros sehingga menyebabkan pengurangan maximum daya yang dapat digunakan, jika diperkirakan dengan menggunakan rumus (2.4).

b. Aqueous elektrolit

Aqueous elektrolit membatasi voltase sell sehingga satu volt sehingga mengurangi energi yang dapat diperoleh dibandingkan organik elektrolit. Keuntungan aqueous elektrolit adalah

mpunyai konduktivitas listrik yang relatif lebih tinggi (0.8 S cm^{-1} untuk H_2SO_4) dan harga ng relatif lebih murah jika di bandingan dengan organik elektrolit.

Green Coke

Green Coke (GC) adalah produk padatan yang dihasilkan dari proses penyulingan minyak mentah. Pada umumnya, green coke dapat dibagi kepada dua jenis, yaitu carbon petroleum dan carbon batu bara. Pengujian petroleum coke biasanya ditentukan oleh ciri-ciri fisikal dan ciri-ciri komposisi kimia, dimana ciri-ciri komposisi kimia akan ditentukan oleh jumlah komposisi yang akan digunakan semasa proses penghasilan kok. Sedangkan, ciri-ciri fisikal akan menentukan kesesuaian sampel kok dalam penggunaan sesuatu yang spesifik (Consortium Registration 2000). Ciri-ciri green coke yang telah dikaji oleh Consortium Registration 2000 adalah seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 1, sedangkan Tabel 2 menunjukkan spesifikasi green coke yang dihasilkan oleh PT Pertamina, Indonesia.

Tabel 2.1. Ciri-ciri green coke berdasarkan consortium registration

Ciri-Ciri	Kok Hijau
Sulfur	2.5-5.5% berat
Nitrogen	0.1-0.3%
Kalsium	-
Natrium	200-400 ppm
Asid hidrokarbon	9-12% berat
Asid	-
Asid sebenarnya	-

Sumber: Consortium registration 2000

Tabel 2.2. Ciri-ciri green coke produksi PT Pertamina

Parameter	Spesifikasi
Persentase pengewapan	14.50%
Persentase kandungan karbon	80.00%
Persentase nilai pemanasan	7500 KcalKg ⁻¹
Persentase kandungan sulfur	0.7%
Persentase saiz partikel+4MESH	30.00MESH

Sumber: Pertamina 1996

dapat banyak penyelidikan yang telah dilakukan dengan menggunakan GC sebagai elektroda dalam industri tertentu. Struktur mesofasa semasa proses penyejukan supaya

GC dapat dibentuk sesuai digunakan dalam penghasilan elektroda grafit dengan diameter yang besar serta koefisien konduktivitas termal kurang dari 1.1×10^{-6} C. Struktur GC adalah mudah untuk membentuk struktur grafit. Oleh itu, GC sesuai digunakan sebagai elektroda grafit yang mempunyai koefisien konduktivitas termal dan konduktivitas listrik yang rendah, serta densiti dan kekuatan yang tinggi dapat diperoleh.

Kajian proses pirolisis GC telah didapat bahwa: (a) proses penyahhidratan akan terjadi sewaktu GC dipanaskan, (b) pada suhu kira-kira 400C, proses tanpa penguapan akan terjadi dengan membebaskan hidrokarbon yang dapat menguap, (c) pada suhu kira-kira 600C, hidrokarbon yang tidak dapat menguap seperti hidrogen dan metana akan teroksidasi. Proses tanpa penguapan diiringi dengan perubahan struktur. Penyusunan partikel pada perlakuan ini mengakibatkan peningkatan density GC.

Perbuk gergaji kayu karet

Indonesia memiliki hamparan perkebunan karet terluas di dunia yaitu seluas 3,3 juta hektar (Mulya, 2007). Sebanyak 15 propinsi tercatat sebagai sentra produksi karet nasional, antara lain Nanggroe Aceh Darussalam, Sumatera Utara, Riau, Jambi, Bangka Belitung, Bengkulu, Kalimantan Barat dan Kalimantan Timur. Rata-rata umur produksi perkebunan karet 25-30 tahun dan kemudian harus diremajakan. Pohon karet ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan bangunan rumah, kayu api, arang, ataupun di kirim ke pusat pengolahan untuk menghasilkan kayu gergajian.

Kayu gergajian kayu karet dapat dijadikan bahan dasar pembuatan karbon aktif (Narasimhan et al 2004). Karbon aktif saat ini dapat dimanfaatkan dalam bidang yang luas seperti, pemurni air dari bahan berbahaya (Shameem Hasan et al 2000), (M. Helen et al 2005), elektroda pada devais supercapacitor (Zhou Shao-yun et al 2007), dan baterai (Brousse et al 2007) dan batrai.

2.6. Roadmap penelitian

Beberapa hasil terpenting yang berkait langsung dengan penelitian yang diusulkan dapat dikemukakan sebagai berikut: Erman taer dkk, sejak tahun 2005 telah melakukan studi awal tentang produksi karbon dari berbagai macam bahan biomasa, seperti kelapa sawit, tempurung kelapa, serbuk gergaji kayu dan lainnya. Dari bahan karbon yang dihasilkan telah dilakukan pengukuran sifat-sifat fisika dan elektrokimia seperti, kandungan kalor, daya termolistrik, luas permukaan BET, kapasitan spesifik. Pada tahun 2009 peneliti mencoba memanfaatkan bahan karbon yang berasal dari biomassa (serbuk gergaji kayu karet) sebagai elektroda superkapasitor berbentuk pellet dengan modifikasi penambahan platinum nano partikel dengan struktur dwi-lapisan melalui bantuan dana berasal dari skim penelitian hibah bersaing dan skim penelitian fundamental untuk tahun kedua (2010) kegiatan ini masih diteruskan. Untuk pengembangan superkapasitor dengan energy dan daya yang lebih besar maka dalam kegiatan ini (tahun 2011 s/d 2012) peneliti mencoba membuat prototype superkapasitor dengan kombinasi konsep kapasitan dwi-lapisan dan pseodokapasitan dengan menggunakan komposit elektroda karbon dari green coke produksi pertamina dan ruthenium oksida. Selanjutnya untuk tahun 2013-2015 peneliti mengharapkan dapat mengembangkan rangkaian superkapasitor yang sesuai digunakan untuk kendaraan bermotor ramah lingkungan, peranti elektronika dan lain sebagainya. Pada Tabel 3 ditunjukkan judul publikasi terpilih peneliti.

Tabel 2.3. Daftar Publikasi peneliti lima tahun terakhir

No	Judul Publikasi
1.	Kandungan kalor pelepah daun kelapa sawit, disampaikan pada symposium fisika nasional 2005 di pekanbaru.
2.	Pembuatan dan pengujian suhu pembakaran briket arang dari tempurung kelapa, kelapa sawit dan kayu bakau, disampaikan pada seminar dan rapat tahunan bidang mipa ke 18 BKS-PTN 2005, di Jambi
3.	Pengukuran daya termolistrik pada logam dan karbon, disampaikan pada seminar bersama UKM UNRI, 2006
4.	Pengukuran daya termolistrik relative pada karbon yang berasal dari serbuk pengergajian kayu, disampaikan pada seminar dan rapat tahunan BKS-PTN MIPA wilayah barat 2006, di Padang
5.	Estimation of maximum specific capacitance of electrochemical double layer (ecd) capacitors using of carbon porous electrodes from rubber wood saw dust and green petroleum coke disampaikan pada Nasional solid state conference, di Johor Bahru, Malaysia, 2007
6.	Capacitance specific of carbon electrode from pre-carbonized rubber wood sawdust, national conference solid state physics, Malaysia, pordicson (2008).

Deposition and characterization of platinum and gold nanoparticles on carbon pellets electrodes from mixture of green petroleum coke and self-adhesive carbon grains from biomass precursor, prosiding natural science, scientific conference 4, (2009) 125-132.

Peningkatan Sifat Elektrokimia Pellet Karbon Superkapasitor Menggunakan Nano Partikel Platinum, makalah disampaikan pada seminar nasional fisika di Padang, 18 NOV 2009-12-14

Effect of Carbonization Temperature on Physical and Electrochemical Properties of Activated carbon Pellet from Pre-Carbonized Rubber Wood Sawdust for Supercapacitor Application, makalah disampaikan pada seminar nasional fisika di Padang, 18 NOV 2009-12-14.

Taer E, Deraman M, Talib I A, Umar A A, Oyama M, Yunus R M. Physical, electrochemical and supercapacitive properties of activated carbon pellets from pre-carbonized rubber wood sawdust by CO₂ activation. International Journal. Curr Appl Phys. (in Press).(2010)

Taer E, Deraman M, Talib I A, Umar A A, Oyama M, Yunus R M Preparation of highly porous carbon pellet from rubber wood sawdust for supercapacitor application: Effect of carbonization temperature, submitted paper to International Journal of Carbon. (2010)
