

Sistem Pembangkit Listrik Biomassa Energi Terbarukan di Swedia

Zulfikri Azmi¹, Aldo Serunting Pasma², Ruska Rahmat Wahyudi³, M.Aqsal Alfarisi⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Elektro; Institut Teknologi Sumatera; Lampung Selatan 35365; Indonesia

Email : zulfikri.12013008@student.itera.ac.id (z), aldo.120130144@student.itera.ac.id (a),
ruska.120130044@student.itera.ac.id (r), maqsal.120130128@student.itera.ac.id (m)

Abstrak : Penelitian ini membahas implementasi dan perkembangan sistem pembangkit listrik biomassa sebagai sumber energi terbarukan di Swedia. Fokus utama penelitian ini adalah menganalisis dampak sistem pembangkit listrik biomassa terhadap lingkungan dan ekonomi energi. Metode penelitian melibatkan analisis terhadap data lingkungan, evaluasi ekonomi, serta tinjauan literatur terkait teknologi biomassa dan kebijakan energi terbarukan di Swedia. Studi ini menguraikan aspek-aspek kunci dalam implementasi sistem pembangkit listrik biomassa, termasuk teknologi yang digunakan, potensi dampak lingkungan, dan kontribusi terhadap energi terbarukan secara keseluruhan. Analisis lingkungan mencakup evaluasi jejak karbon, pengelolaan limbah, dan dampak ekologis lainnya yang terkait dengan pembangkit listrik biomassa. Dari *energy economics*, penelitian ini menginvestigasi faktor-faktor yang memengaruhi *energy environments* pembangkit listrik biomassa. Ini melibatkan analisis biaya investasi, perbandingan dengan sumber energi konvensional, serta dampak kebijakan dan insentif pemerintah terhadap ekonomi energi biomassa di Swedia. Hasil penelitian ini memberikan wawasan mendalam tentang keberhasilan dan tantangan yang dihadapi oleh Swedia dalam menerapkan sistem pembangkit listrik biomassa. Dengan mempertimbangkan aspek lingkungan dan ekonomi, penelitian ini memberikan landasan untuk pengembangan lebih lanjut dalam mengoptimalkan kontribusi energi terbarukan dari biomassa serta merumuskan kebijakan yang mendukung transisi menuju sumber energi yang lebih berkelanjutan di masa depan.

Kata Kunci : *energy environments, energy economics, biomassa, Swedia*

Abstract : This research discusses the implementation and development of biomass electricity generation systems as a renewable energy source in Sweden. The main focus of this research is to analyze the impact of biomass power generation systems on the environment and energy economy. Research methods include analysis of environmental data, economic evaluation, as well as a review of literature related to biomass technology and renewable energy policy in Sweden. This study outlines key aspects of implementing a biomass power generation system, including the technology used, potential environmental impacts, and contribution to overall renewable energy. Environmental analysis includes evaluating the carbon footprint, waste management, and other ecological impacts

Jurnal Energi Baru & Terbarukan, 2023, Vol. 4, No. 3, pp 257 – 273

Received : 22 Agustus 2023

Accepted : 18 September 2023

Published : 25 Oktober 2023



Copyright: © 2022 by the authors. [Jurnal Energi Baru dan Terbarukan](#) (p-ISSN: [2809-5456](#) and e-ISSN: [2722-6719](#)) published by Master Program of Energy, School of Postgraduate Studies. This article is an open access article distributed under the terms and condition of the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](#) (CC BY-SA 4.0).

associated with biomass power plants. From energy economics, this research investigates the factors that influence the energy environment of biomass power plants. This involves analysis of investment costs, comparison with conventional energy sources, as well as the impact of government policies and incentives on the biomass energy economy in Sweden. The results of this research provide in-depth insight into the successes and challenges Sweden has faced in implementing a biomass electricity generation system. By considering environmental and economic aspects, this research provides a basis for further development in optimizing the contribution of renewable energy from biomass and formulating policies that support the transition to more sustainable energy sources in the future.

Keywords : *Energy Enviroments, Energy Economics ,biomass ,Sweden*

1. Pendahuluan

Transisi perekonomian global menuju pembangunan berkelanjutan merupakan salah satu tantangan dalam dekade mendatang. Pada tahun 2015 Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) mengadopsi Agenda Pembangunan Berkelanjutan 2030, yang mencakup Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDG) untuk mencapai masa depan yang lebih baik dan berkelanjutan. Diantara 17 tujuan tersebut, tujuan ketujuh, SDG 7, adalah “menjamin akses terhadap energi yang terjangkau, andal, berkelanjutan, dan modern untuk semua.” Hal ini mendorong sistem energi yang lebih berkelanjutan dan tersedia secara luas. PBB telah menetapkan 5 target dan 7 indikator untuk SDG 7. Target tersebut meliputi meningkatkan porsi energi terbarukan dalam bauran energi global, meningkatkan efisiensi energi, dan mendorong investasi dalam teknologi energi bersih, dan lainnya. Pada tahun 2030, transisi ke sistem energi berbasis terbarukan adalah jalan untuk mencapai SDG 7 yang menyediakan energi terjangkau dan bersih. Energi terbarukan dapat dimanfaatkan secara langsung, seperti pembakaran biomassa atau biogas, konversi energi matahari menjadi energi panas, konversi tenaga angin dan air menjadi energi kinetik, penggunaan pompa kalor untuk pemanas ruangan, dan lain-lain. Bagi pengguna listrik, energi terbarukan bisa berupa energi listrik, energi yang dihasilkan dari aliran air, angin, sinar matahari, biomassa hydrogen, dan lainnya.

Di Swedia, lebih dari separuh konsumsi energi berasal dari energi terbarukan. Pangsa energi terbarukan terhadap total konsumsi energi telah meningkat dari 33% (pada tahun 1990) menjadi 54,6% (pada tahun 2018), yang merupakan angka tertinggi di antara negara-negara anggota UE. Tingginya pangsa energi terbarukan di Swedia sebagian besar disumbangkan oleh pembangkit listrik tenaga air dan bioenergi. Pembangkit listrik tenaga air sebagian besar digunakan untuk pembangkit listrik, dan bioenergi untuk pemanas. Pasokan energi primer Swedia berdasarkan pangsa (pada tahun 2017). Pada tahun 2019, total pembangkitan listrik di Swedia sebesar 164,4 TWh. Sekitar 39,3% dari tenaga air, 39,1% dari tenaga nuklir dan panas, 12,1% dari tenaga angin dan 9,5% dari biomassa & limbah serta energi surya. Sekitar 58% dari total pembangkitan listrik berasal dari sumber energi terbarukan. Dalam dekade terakhir, kapasitas tenaga angin di Swedia telah meningkat secara signifikan. Pembangkitan listrik dari tenaga angin pada tahun 2009 adalah 2,5 TWh, yaitu 1,87% dari total pembangkitan listrik pada tahun tersebut. Pada tahun 2019 meningkat menjadi 19,9 TWh atau 12,1% dari total pembangkitan listrik.

Negara Swedia dua puluh tahun terakhir, kebijakan energi Swedia ditandai dengan konflik antar pengurangan ketergantungan pada minyak, penghapusan tenaga nuklir secara bertahap dan tujuan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan polusi lainnya. Terdapat banyak perubahan dalam pembaruan produk sektor 30 tahun terakhir. Hingga akhir tahun 1970an, Swedia sangat bergantung

pada minyak. Menyusul krisis minyak pada awal tahun 1970an, Swedia mengembangkan program tenaga nuklir dan mendiversifikasi bahan bakarnya menjadi gas, batu bara dan sejak tahun 1990an, meningkatkan penggunaan energi hidroelektrik dan biomassa. Saat ini, pembangkit listrik tenaga air dan nuklir mendominasi campuran pembangkit listrik dengan masing-masing 46% dan 45,7% produksi listrik pada tahun 2002. Pembangkit berbahan bakar fosil dan biofuel menyumbang 7,9%. Namun, perluasan pembangkit listrik tenaga air di masa depan dibatasi oleh perlindungan hukum terhadap beberapa sungai besar yang tersisa. Tenaga Nuklir saat ini menghadapi masa depan yang tidak pasti. Pada tahun 1980, sebuah referendum memutuskan untuk menghentikan penggunaan tenaga nuklir. Penggantian tenaga nuklir inilah yang menjadi alasan di balik program energi terbarukan di Swedia. Sejak tahun 1991, kebijakan telah didopsi secara khusus untuk mempromosikan sumber energi terbarukan. Tenaga angin, meskipun memiliki tingkat pertumbuhan yang tinggi dalam satu dekade terakhir masih merupakan kontributor kecil yaitu sebesar 0,4% dari total pembangkitan listrik pada tahun 2002 (SEA, 2003). Meningkatkan penggunaan tujuan penting lainnya dari kebijakan energi swedia adalah untuk menyediakan kebutuhan bagi industri listrik berbiaya rendah.

Penggunaan biomassa dalam total pasokan energi telah meningkat sebesar 44% antara 1990 dan 1999, sebesar 85 TWh pada tahun 1999 dimana setara dengan 14% dari total pasokan energi Swedia (Johansson, 2002). Namun penggunaan biomassa dalam produksi listrik hanya sedikit meningkat. Pada tahun 2002 sebesar 6,2 TWh produksi listrik sebesar 3,8 TWh, yang menyumbang 2,6% dari pembangkitan listrik. Biomassa dapat memainkan peran penting dalam menyelesaikan konflik antara berbagai tujuan kebijakan energi dan lingkungan Swedia. Oleh karena itu, biomassa telah menarik perhatian yang signifikan Kebijakan energi Swedia selama beberapa dekade terakhir. Selama periode ini penggunaan biomassa juga meningkat secara signifikan dan saat ini menyediakan 14% pasokan energi Swedia (Swedish National Energy Administration, 2000a). perkembangan penggunaan biomassa di Swedia selama beberapa dekade terakhir. Interaksi antara pasokan biomassa, permintaan biomassa dan berbagai insiatif kebijakan diekspolarasi.

Tujuan kami dalam melakukan studi ini adalah untuk berbagi pengalaman tentang negara Swedia akan memperkenalkan dan memperluas sistem pembangkit listrik biomassa energi terbarukan seperti pengenalan pembangkit listrik swedia berdasarkan *energy enviroments* dan *energy economics*.

2. Metode

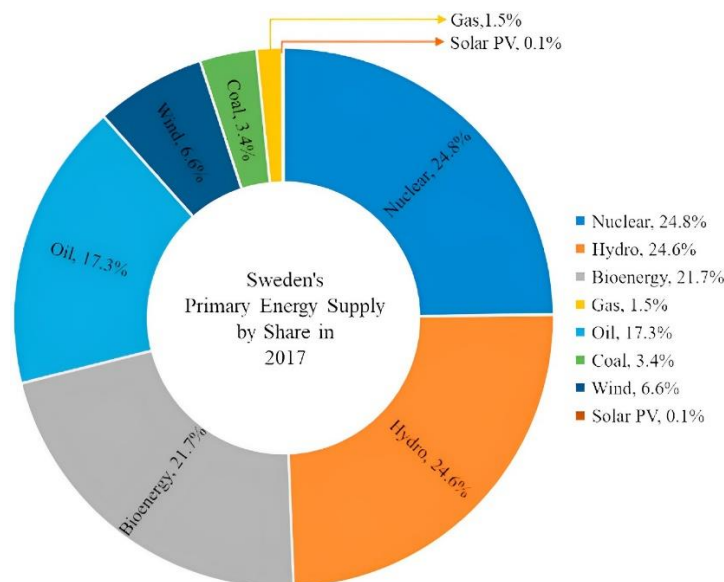
Penelitian ini menggunakan jenis penelitian kualitatif ini menitikberatkan pada penelitian kepustakaan dengan menelaah buku dan manuskrip yang bersumber dari literatur yang relevan mengenai masalah penelitian. Ada dua jenis sumber data yang digunakan yaitu primer dan sekunder. Buku yang menjadi pedoman utama kajian pola dan strategi pengasuhan disebut data primer. Sebaliknya, buku-buku yang masih dianggap relevan dengan kajian penelitian adalah data sekunder. Metode yang digunakan adalah analisis deskriptif. Menganalisis hubungan antara kategori dan kategori lainnya dengan menggunakan interpretasi yang sejalan dengan peta penelitian dan berpedoman pada masalah yang diteliti dalam tujuan penelitian untuk mewujudkan konstruksi teoritis yang sejalan dengan masalah yang diteliti.

3. Hasil

3.1. Biomassa yang digunakan Swedia

Penggunaan biomassa pertama kali diperkenalkan di sistem pemanas listrik Swedia sekitar tahun 1980 dan penggunaannya tetap cukup kecil selama sepuluh tahun berikutnya. Ekspansi biomassa besar-besaran dimulai pada awal tahun 1990-an dan berlanjut hingga sekitar tahun 2010, setelah itu penggunaan biomassa cukup stabil. Pada tahun 2014, penggunaan biomassa dalam produksi listrik mencapai 99 PJ. Penggunaan biomassa saat ini dalam sistem pemanas listrik mencakup beberapa jenis boiler dengan ukuran yang berbeda. Meskipun sebagian besar biomassa digunakan pada pembangkit listrik tenaga biomassa digunakan pada pembangkit listrik tenaga biomassa menengah dan besar, biomassa memainkan peran penting dalam sistem pemanas distrik kecil di kota-kota kecil dan desa-desa. Boiler khusus panas berbahan bakar biomassa sering kali menjadi sumber energi utama atau satu-satunya sumber energi dalam sistem pemanas distrik kecil. Tanpa kesempatan untuk menggunakan biomassa, kota-kota kecil dan desa-desa ini mungkin tidak akan berinvestasi dalam sistem pemanas distrik untuk memenuhi kebutuhan panas lokal.

Menurut Stromberg (2006), biomassa adalah istilah kolektif untuk sekumpulan bahan bakar biomassa yang beragam. Sifat pembakaran dan lingkungan dari berbagai bahan bakar biomassa yang beragam. Sifat pembakaran dan lingkungan dari berbagai bahan bakar biomassa telah dirangkum dan dilaporkan dalam (Ref). Biomassa yang digunakan di sektor pemanas distrik didominasi oleh bahan bakar kayu dan serbuk gergaji yang menyumbang 70% dari biomassa yang digunakan untuk produksi panas distrik pada tahun 2013, dan pelet kayu dan briket (16%). Penggunaan biomassa juga mencakup bio-oil (5%), tall oil-produk sampingan dari produksi pulp (2%), berbagai limbah kayu (3%) dan bahan bakar biomassa tidak ditentukan (4%).



Gambar 1. Pasokan energi primer Swedia berdasarkan pangsa pada tahun 2017. Data: dihitung menggunakan versi online gratis IEA (Zhong,2021)

Pasokan biomassa untuk sektor pemanas distrik didominasi oleh bahan bakar kayu yang diproduksi dalam negeri, tetapi juga termasuk biomassa yang diimpor. Impor biomassa secara reguler dan dalam

skala yang lebih besar dimulai pada tahun 1990-an ketika pembangkit listrik tenaga panas CHP yang besar di kota pesisir mulai menggunakan biomassa dalam jumlah yang cukup besar yang harus dipasok dari daerah lain di Swedia atau diimpor. Impor biomassa untuk sektor pemanas distrik diperkirakan mencapai 18 PJ pada tahun 2000 (sekitar 30% dari penggunaan biomassa di sektor ini) dan melibatkan berbagai bahan bakar seperti pelet kayu, serpihan kayu, minyak tanah dan limbah kayu (Erikson,2004). Impor bahan bakar nabati terus berlanjut sejak saat itu, tetapi tidak ada perkiraan volume terbaru. Sepengetahuan dari riset menyatakan impor saat ini terutama terdiri pelet kayu dan minyak tinggi yang berasal dari Kanada, Amerika Serikat dan negara-negara Baltik.

3.2. Analisis Pengembangan Biomassa dalam Sistem Pemanas Distrik Swedia

Meskipun pasokan biomassa biasanya dilaporkan bersama dengan limbah dalam statistic energi internasional, bagian ini hanya membahas penggunaan biomassa dalam sistem pemanas distrik Swedia.

3.2.1. Pendorong Kebijakan

Bioenergi secara langsung atau tidak langsung didukung oleh kebijakan lokal dan pemerintah sejak krisis minyak pada tahun 1973 dan 1979. Peristiwa ini menjadi titik awal bagi kebijakan energi Swedia dalam arti yang lebih luas dan mengarah pada penerapan ketahanan energi dan pengurangan konsumsi minyak sebagai kebijakan keseluruhan. tujuan selama tahun 1970an dan 80an. Strategi kebijakan utama untuk mencapai tujuan ini adalah konservasi energi dan pengembangan serta peningkatan penggunaan sumber daya energi dalam negeri seperti biomassa. Akibatnya, pengeluaran pemerintah untuk penelitian, pengembangan dan demonstrasi (RD&D) energi meningkat pesat pada periode ini (Haegermark, 2001). RD&D bioenergi merupakan salah satu bidang yang diprioritaskan dan mencakup bahan bakar dari sisa hutan, kehutanan rotasi pendek, penyempurnaan bahan bakar dan teknologi konversi (Erikson, 2016).

Dalam produksi panas dirangsang melalui subsidi investasi untuk pembangunan pabrik percontohan yang menggunakan bahan bakar padat (Erikson,2016). Subsidi investasi dibiayai melalui dana substitusi minyak yang dana utamanya diperoleh dari fee atas produk minyak. Penggunaan biomassa dan bahan bakar padat lainnya dipromosikan lebih lanjut melalui Undang-Undang Bahan Bakar Padat (Erikson 2016), yang mewajibkan boiler baru dengan ukuran tertentu agar dapat membakar bahan bakar padat, dan boiler yang lebih kecil agar mudah beradaptasi dengan bahan bakar padat.

Secara ekonomi, biomassa bukanlah pilihan sumber energi yang jelas di sektor pemanas distrik pada tahun 1970an dan 1980an. Komitmen lokal yang kuat terhadap sumber energi terbarukan lokal sering kali berperan penting pembangkit listrik tenaga pemanas distrik dan CHP yang mulai menggunakan biomassa pada tahun 1980an. Salah satu contohnya adalah kota Boras dimana dewan kota pada tahun 1980an memutuskan untuk melakukan pembakaran biomassa dengan batu bara sebagai pengganti bahan bakar minyak di pabrik CHP yang bertentangan dengan manajemen administrasi energi kota, yang hanya menganjurkan batu bara.

Isu perubahan iklim memasuki politik Swedia sekitar tahun 1990 dan sejak itu menjadi faktor penting dalam kebijakan energi dan pendorong *bioenergy* (Eriksson 2004). Pada tahun 1991, Swedia melakukan reformasi perpajakan energi dengan memperkenalkan pajak karbon dan memperkuat profil lingkungan dari perpajakan energi. Pajak energi mempunyai sejarah yang panjang di Swedia dan secara

tradisional tidak dikenakan pada biomassa dan gambut. Namun pajak energi tidak merangsang penggunaan biomassa secara besar-besaran sampai reformasi pajak energi pada tahun 1991. Pajak energi dan karbon dikenakan pada bahan bakar yang digunakan dalam produksi panas, namun tidak pada bahan bakar yang digunakan dalam produksi listrik. Sebaliknya konsumsi listrik dikenakan pajak. Pajak karbon pertama kali ditetapkan sebesar 25 EUR/ton CO₂, dan kemudian ditingkatkan secara bertahap menjadi 112 EUR/ton CO₂ pada tahun 2015. Sebagai hasil dari reformasi pajak energi, biaya batubara dalam produksi panas distrik hampir mencapai hampir dua kali lipat dan biomassa menjadi bahan bakar termurah dalam aplikasi ini (Eriksson, 2004). Setelah tahun 2008, pajak karbon secara bertahap dihapuskan untuk pabrik pembakaran yang tercakup dalam Sistem Perdagangan Emisi UE (EU ETS) agar tidak mengganggu instrumen ini. EU ETS diluncurkan pada tahun 2005 dan mencakup sebagian besar pabrik pembakaran Swedia di sistem pemanas distrik. Pajak karbon saat ini hanya berlaku untuk pembangkit listrik di sistem pemanas distrik kecil yang tidak tercakup dalam EU ETS. Harga tunjangan emisi UE sejauh ini berada di kisaran 530 EUR/ton CO₂, yang jauh lebih rendah dibandingkan pajak karbon Swedia.

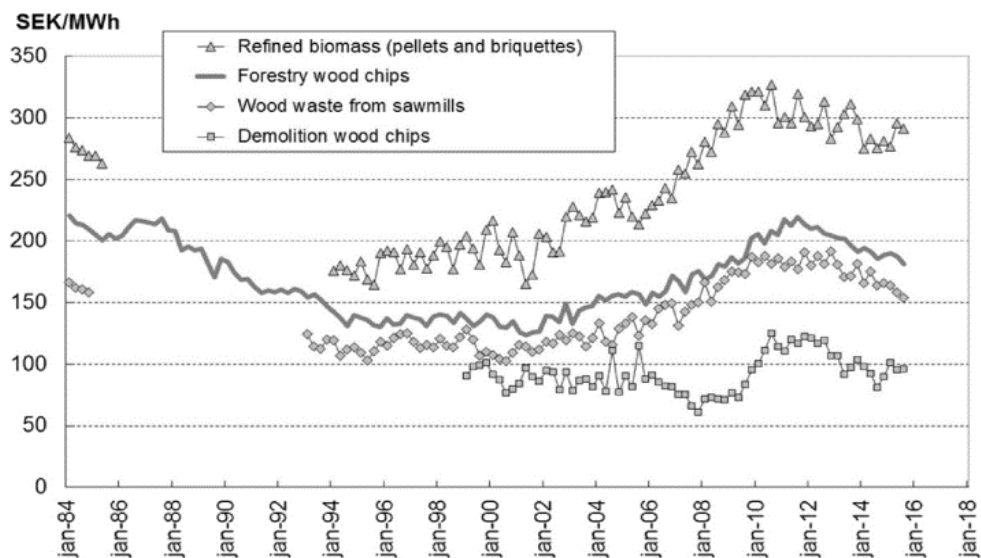
Menurut Jacobsson (2008), Pajak karbon belum mendorong penggunaan biomassa dalam produksi listrik, dan oleh karena itu juga tidak mendorong produksi CHP berbasis biomassa. Sebaliknya, dua skema hibah investasi pemerintah (1991-1996 dan 1997-2002) memainkan peran penting dalam fase formatif CHP berbasis biomassa di Swedia. Hibah investasi tersebut menghasilkan pembangunan sejumlah pembangkit listrik tenaga listrik (CHP) berbahan bakar biomassa, meskipun kelayakan ekonominya masih lemah karena rendahnya harga listrik. Dalam banyak kasus, komitmen lokal yang kuat untuk menggunakan sumber energi terbarukan lokal berperan penting dalam hal ini peran penting dalam keputusan investasi. Pada tahun 2003, hibah investasi yang mendukung produksi listrik terbarukan digantikan dengan skema Sertifikat Listrik Terbarukan yang Dapat Diperdagangkan (TREC). Skema ini mengharuskan pemasok listrik untuk membeli TREC sesuai dengan proporsi tertentu (kuota yang diatur) dari pasokan mereka. Kuota yang ditetapkan undang-undang ini meningkat setiap tahunnya. Untuk memenuhi permintaan sertifikat, produsen listrik dari sumber energi terbarukan (tidak termasuk pembangkit listrik tenaga air skala besar) dan lahan gambut memenuhi syarat untuk menerima TREC berdasarkan volume produksinya. Penjualan TREC menghasilkan pendapatan tambahan bagi produsen listrik terbarukan selain dari listrik yang dijual. Skema TREC telah memberikan insentif ekonomi yang kuat untuk produksi CHP berbasis biomassa dan telah menghasilkan investasi besar dalam pembangkit listrik CHP baru berbahan bakar biomassa (Liden, 2005). Sejak Januari 2012, Swedia dan Norwegia memiliki pasar bersama untuk TREC.

Selama 10 tahun terakhir, sejumlah besar pemerintah daerah di Swedia dan beberapa pemerintah daerah telah mengadopsi tujuan untuk menghapuskan penggunaan bahan bakar fosil secara bertahap pada tahun 2020 dalam kegiatan mereka, misalnya penggunaan energi di gedung-gedung dan armada kendaraan mereka sendiri, termasuk bis-bis. Sasaran-sasaran ini tentu memberikan tekanan pada perusahaan-perusahaan pemanas distrik setempat meskipun tidak jelas sejauh mana tujuan-tujuan ini telah mempengaruhi dan akan mempengaruhi pasokan panas dalam sistem pemanas distrik.

3.2.2. Harga Biomassa dan Keekonomian Produksi CHP berbasis Biomassa

Gambar 2 menunjukkan harga riil berbagai bahan bakar biomassa selama periode 1984-2015. Harganya cukup tinggi ketika pertama kali diperkenalkan pada tahun 1980an, namun kemudian secara bertahap menurun hingga tahun 1995 karena kombinasi pasokan dan produktivitas yang lebih tinggi

di bidang kehutanan. Harga kemudian stabil hingga tahun 2002. Menurut Bjorheden (2006), Banyak analisis, misalnya, menafsirkan penurunan harga ini sebagai contoh pembelajaran teknologi dalam produksi dan penggunaan biomassa. Namun, harga biomassa mulai meningkat setelah tahun 2002 karena meningkatnya permintaan. Harga biomassa mencapai puncaknya pada tahun 2011 dan kemudian perlahan-lahan mengalami penurunan. Gambar 2 juga menunjukkan bahwa bahan bakar biomassa olahan lebih mahal dibandingkan serpihan kayu kehutanan dan pembongkarannya. kayu dan kayu daur ulang lainnya adalah yang termurah, karena memerlukan boiler yang lebih canggih, izin lingkungan, dan peralatan pembersihan yang sesuai. Analisis lebih rinci mengenai harga biomassa Swedia telah disajikan dalam Pustaka.



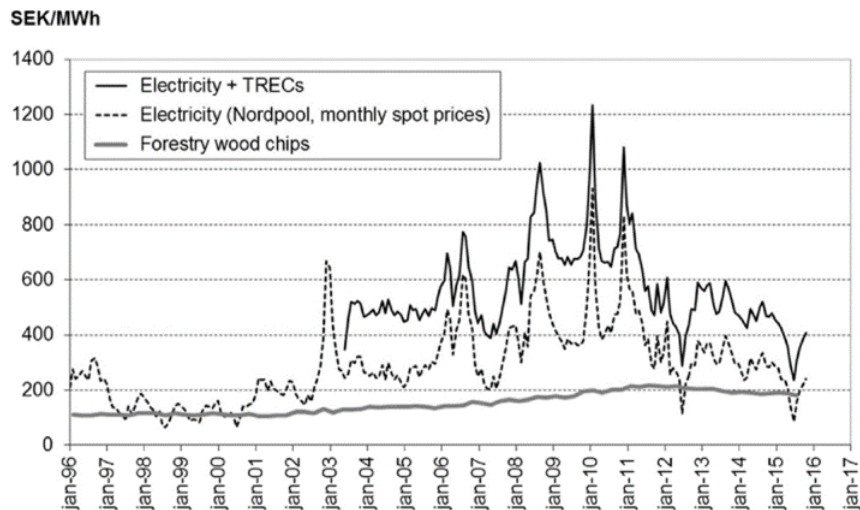
Gambar 2. Harga biomassa riil pada tingkat harga bulan Agustus 2015 untuk bahan bakar biomassa yang disediakan untuk pembangkit listrik tenaga panas distrik di Swedia, menurut Statistiska Swedia (2015) dan beberapa sumber lama lainnya. Harga nominal asli dikompilasi oleh indeks harga konsumen Swedia. 10 SEK kira-kira 1 EUR.

Gambar 3 kondisi pasar untuk pembangkit listrik di pembangkit CHP biomassa. Gambar tersebut harga pasar untuk listrik dan serpihan kayu kehutanan, sesuatu yang memungkinkan untuk mengidentifikasi penyebaran percikan api, yaitu selisih harga antara keluaran listrik dan masukan bahan bakar. Sejak Mei 2003, harga TREC juga dimasukkan dalam kurva harga terpisah. Gambar 2 menunjukkan bahwa penyebaran percikan api hampir nol antara tahun 1997 dan 2000, sehingga memotivasi penggunaan hibah investasi untuk pembangunan pembangkit listrik CHP berbasis biomassa baru pada periode ini. Penyebaran percikan api meningkat pesat dengan diperkenalkannya skema TREC dan khususnya menguntungkan antara tahun 2008 dan 2011, ketika harga TREC dan listrik sedang tinggi.

3.2.3. Pasokan Biomassa dari Hutan

Biomassa yang digunakan dalam sektor pemanas distrik didominasi oleh bahan bakar kayu, yang sebagian besar diproduksi di dalam negeri dan dipasok oleh pemilik hutan dan industri kehutanan, termasuk anak perusahaannya. Swedia memiliki sumber daya hutan yang besar dan

industri kehutanan yang cukup besar. Produksi bahan bakar kayu dan minyak tinggi di Swedia sebagian besar terintegrasi dengan industri kehutanan yang mengendalikan sebagian besar aliran biomassa sebagai pengguna dan produsen kayu, produk kayu dan produk sampingannya. Kegiatan industri kehutanan menghasilkan sejumlah besar sisa dan produk sampingan kehutanan yang sebelumnya tidak dimanfaatkan, namun mendapatkan pasar dengan diperkenalkannya biomassa dalam sistem pemanas distrik. Meskipun demikian, industri kehutanan pada awalnya ragu-ragu untuk mengembangkan pasar bahan bakar kayu karena mereka takut akan persaingan dalam memperebutkan sumber daya biomassa. Untuk menjamin pasokan kayu.



Gambar 3. Harga nominal listrik, dengan dan tanpa harga TRECs, dan harga nominal serpihan kayu kehutanan periode 1996-2015. Perbedaan harga antara listrik, termasuk TREC, dan biomassa menggambarkan penyebaran percikan pembangkit listrik biomassa. 10 SEK kira-kira 1 EUR.

Kayu bulat untuk keperluan pemanasan diatur antara tahun 1983 dan 1993 (Erikson, 2016). Pada periode ini pabrik pemanas distrik dan pembangkit CHP harus memiliki izin untuk membakar serpihan kayu dalam jumlah besar. Industri kehutanan dari waktu ke waktu menjadi lebih positif terhadap biofuel dan peluang bisnis baru yang dihasilkannya (Eriksson, 2011). Di Swedia, terdapat rutinitas pembelian dan penjualan biomassa kehutanan seperti kayu bulat dan serpihan kayu sejak tahun 1940an ketika Dewan Pengukuran Kayu, yang mengorganisir Asosiasi Pengukuran Kayu setempat, dibentuk. Pembayaran rutin ini juga dapat diterapkan pada bahan bakar kayu mentah dan telah diterima sejak awal oleh sektor pemanas distrik. Seiring berjalannya waktu, industri kehutanan juga berinvestasi pada produksi wood pellet. Minyak tinggi umumnya dijual ke pengolah industri untuk dimurnikan menjadi bahan bakar berkualitas.

Seiring berjalannya waktu, pasokan bahan bakar kayu ke sektor pemanas distrik telah meluas menjadi sisa-sisa kehutanan dari operasi penjarangan dan penebangan akhir (sisasisa pembalakan). Bahan bakar ini diperkenalkan pada awal tahun 1980an. Rantai pasok sisa hutan telah berkembang pesat sejak saat itu dan pengurangan biaya yang besar telah dicapai melalui proses pembelajaran (Junginger, 2005). Kelangsungan hidup bahan bakar ini didasarkan pada pembagian biaya mesin dan jalan hutan dengan produksi kayu bulat industri (Berg, 2003). Selama tahun 1980-an apa yang disebut

terminal chipping dipraktikkan. Hal ini melibatkan pengangkutan sisa-sisa hutan ke terminal pusat di mana sisa-sisa tersebut dipecah dan diangkut ke pengguna akhir. Sejak tahun 1990-an, rantai pasok yang dominan di Swedia adalah chipping pinggir jalan yang mana sisa-sisa hutan pertama kali dibuang ke pinggir jalan. Residu hutan kemudian dipecah di pinggir jalan langsung ke dalam truk kontainer baik melalui mobile chipper atau truk-mounted chipper dan kemudian diangkut ke pengguna akhir (Junginger,2005).

Residu penebangan selalu dipanen dalam operasi terpisah setelah penebangan habis. Sejumlah solusi teknis untuk pembalakan yang sangat terintegrasi telah diusulkan dan dikembangkan, namun tidak pernah direalisasikan dalam praktiknya (Bjorheden 2006). Namun, operasi lapangan untuk memanen kayu bulat dan sisa penebangan sangat terkoordinasi. Misalnya, sisa penebangan biasanya dikumpulkan bersamaan dengan pemanenan kayu bulat dan kayu pulp dan ditumpuk di sebelahnya. Hal ini dilakukan untuk menghindari mesin-mesin berat menabrak sisa penebangan sehingga mencemari batu dan lumpur (Bjorheden 2006). Ekstraksi sisa hutan meningkat pesat pada tahun 2000an, namun tetap stabil selama beberapa tahun terakhir (Eriksson 2016).

Pemanenan sisa hutan diatur oleh Undang-Undang Kehutanan Swedia dan pedoman yang dikeluarkan oleh Badan Kehutanan Swedia mengenai ekstraksi biomassa dari berbagai jenis tanah dan tegakan hutan. Ekstraksi sisa-sisa hutan harus dikombinasikan dengan daur ulang abu untuk menghindari pengasaman dan hilangnya unsur hara tanah (Lunborg,1998). Menurut Anderson (2014), Daur ulang abu diperkenalkan dalam skala kecil di Swedia pada tahun 1990an, dan telah meningkat sejak saat itu. Daur ulang abu dilakukan di sekitar 10.000 ha setiap tahunnya pada periode 2010-2013 (Erikson,2016). Namun luas wilayah ini jauh lebih kecil dibandingkan dengan kebutuhan yang diperlukan untuk mempertahankan produktivitas hutan dalam jangka panjang dan Badan Kehutanan Swedia saat ini sedang menyusun strategi untuk mengubahnya (Anderson, 2014).

3.2.4. Jalur Teknologi untuk Konversi Biomassa

Transisi dari minyak dan batu bara ke biomassa di sektor pemanas distrik terjadi secara terhadap dan melibatkan sejumlah pengembangan teknis yang dijelaskan di bawah ini. Langkah pertama dalam transisi ke biomassa diambil pada akhir tahun 1970an dan awal tahun 80an dan melibatkan pembakaran biomassa bersama dengan batu bara atau minyak serta konversi boiler berbahan bakar minyak menjadi biomassa saja. Konversi ke biomassa atau pembakaran biomassa bersama cukup mudah dan relatif mudah bagi boiler-boiler yang ada. awalnya dibangun untuk membakar batu bara. Konversi pertama ke biomassa melibatkan konversi boiler berbahan bakar minyak di daerah Mora (1978) dan daerah Växjö (1979/1980). Beberapa tahun kemudian, boiler pertama di pabrik CHP diubah menjadi biomassa dari minyak pada daerah Växjö (1983). Di pabrik CHP di Borås (1984) dan Linköping (1985), boiler berbahan bakar batu bara dan minyak diubah menjadi pembakaran biomassa bersama.

Langkah kedua melibatkan investasi pada boiler berbahan bakar biomassa baru, yang dimulai pada tahun 1980an. Teknologi pembakaran yang diterapkan meliputi grates konvensional, bubble fluidized bed, dan sirkulasi fluidized bed. Boiler ini sebagian besar dibuat sebagai boiler yang hanya menggunakan pemanas saja, karena pembangkitan listrik dari biomassa tidak didukung oleh undang-undang pajak energi saat ini. Namun, biomassa sering kali dibakar bersama dengan bahan bakar fosil di pabrik CHP karena diperbolehkan mengalokasikan bahan bakar fosil untuk pembangkit listrik dan biomassa untuk pembangkit panas, sehingga menghindari pajak. Praktik pembukuan ini diperbolehkan hingga tahun 2004 ketika pajak energi pembangkit listrik CHP diubah. Untuk

pembangkit CHP berbahan bakar batu bara dengan boiler bubuk, pembakaran bersama dengan pelet kayu menjadi pilihan yang menarik dan sejumlah pembangkit listrik CHP mengadopsi strategi ini pada awal tahun 1990an (Eriksson 2016).

Langkah ketiga melibatkan investasi pada pabrik CHP baru berbahan bakar biomassa. Seluruh pembangkit CHP biomassa telah memanfaatkan teknologi uap tradisional dengan boiler, turbin, dan kondensor. Pembangkit CHP berbahan bakar biomassa terbesar di Swedia saat ini adalah Igelsta di Sodertälje yang dibangun pada tahun 2009 dan memiliki kapasitas listrik 85 MW dan panas 145 MW dari kondensor tekanan balik, memberikan dasar pembangkit listrik ke panas rasio 0,59. Unit kondensasi gas buang tambahan dapat memasok panas lebih lanjut sebesar 55 MW. Pembangkit CHP yang lebih besar kini sedang dibangun di lokasi Vartan di Stockholm untuk dioperasikan pada tahun 2016. Kapasitas pembangkit ini akan menghasilkan listrik sebesar 130 MW dan panas sebesar 280 MW, dimana 80 MW panas akan diperoleh dari kondensasi gas buang. satuan. Rasio dasar daya terhadap panas tidak termasuk kondensasi gas buang akan menjadi 0,65. Dengan kondensasi gas buang, rasio daya terhadap panas total akan turun menjadi 0,46. Sejauh ini, teknologi gasifikasi baru diterapkan di beberapa proyek percontohan. Proyek awalnya adalah pembangkit listrik demonstrasi siklus gabungan gasifikasi terintegrasi biomassa (IGCC) Värnamo yang ditugaskan pada tahun 1993. Proyek terbaru adalah pembangkit listrik demonstrasi Gobigas baru berkapasitas 20 MW di Gothenburg yang dioperasikan pada tahun 2014 (Jacobsson,2008).

Penggunaan unit kondensasi gas buang telah menjadi hal yang umum dalam penyediaan panas distrik dari biomassa karena tingginya kadar air biomassa. Selama tahun 2014, seluruh unit kondensasi gas buang yang terpasang memulihkan 18 PJ panas, sehingga menambah 16% energi terhadap total input biomassa sebesar 114 PJ, berdasarkan nilai kalor yang lebih rendah (Eriksson, 2016). Karena seluruh pembayaran bahan bakar biomassa didasarkan pada nilai kalor yang lebih rendah, seluruh panas yang diperoleh melalui kondensasi gas buang dapat dianggap sebagai panas bebas tanpa biaya utama apa pun.

3.2.5. Pandangan Masa Depan

Pasokan panas distrik diperkirakan akan tetap pada tingkat saat ini dalam waktu dekat dan kemudian sedikit setelah tahun 2030 karena pasar jenuh dan penurunan permintaan panas. Kebutuhan panas berkurang karena bahan bagnunan menjadi lebih hemat energi. Sejauh ini, penurunan kebutuhan panas telah diimbangi dengan perluasan sistem pemanas distrik secara simultan. Namun potensi perluasan di masa depan cukup terbatas.

Sektor pemanas distrik di Swedia merupakan negara yang pertama kali mengadopsi biomassa dan saat ini sangat bergantung pada biomassa. Meskipun peningkatan besar-besaran dalam biomassa telah memungkinkan penurunan tajam penggunaan bahan bakar fosil di sektor pemanas distrik, hal ini juga menimbulkan kekhawatiran mengenai bagaimana sektor ini dapat menangani persaingan biomassa yang semakin meningkat. Swedia mempunyai sumber daya biomassa yang besar, namun biomasanya masih terbatas sumber daya, terutama dalam konteks Eropa yang lebih luas. Penilaian potensi pasokan biomassa di Eropa menunjukkan bahwa potensi pasokan jauh lebih kecil dibandingkan penggunaan bahan bakar fosil saat ini, namun jauh melebihi penggunaan biomassa saat ini (Eriksson 2006).

Persaingan untuk biomassa diperkirakan akan meningkat di masa depan karena adanya target iklim di masa depan dan kemungkinan penggunaan biomassa di beberapa sektor dan penerapannya

untuk memenuhi target tersebut. Pada tahun 2009, pemerintah Swedia mengadopsi visi untuk mencapai nol emisi gas rumah kaca pada tahun 2050. Visi yang disampaikan oleh UE adalah untuk mengurangi emisi gas rumah kaca di UE sebesar 80-95% pada tahun 2050 dibandingkan tahun 1990. Sumber daya hutan Swedia saat ini sebagian besar digunakan untuk produksi kayu gergajian, pulp dan kertas, serta bahan bakar kayu yang digunakan dalam pembangkit listrik dan panas. Di masa depan, biomassa ini mungkin juga dibutuhkan untuk produksi bahan bakar transportasi, bahan kimia dan plastik yang disebut bio-refineries. Dengan penerapan baru ini, sektor pemanasan distrik harus menyesuaikan strategi pasokan panasnya dan menghidupkan kembali ide dasar pemanasan distrik yang bertujuan memulihkan kelebihan panas yang mungkin hilang. Proses transformasi biomassa primer saat ini dan di masa depan akan menghasilkan kehilangan panas sekunder yang harus diperoleh kembali dalam sistem pemanas distrik. Kemungkinan untuk memulihkan kelebihan panas dari biorefineries dan industri akan ditingkatkan jika ada penerapan pemanasan distrik generasi keempat yang melibatkan suhu pasokan yang lebih rendah (Eriksson 2016).

4. Pembahasan

4.1. Analisis *Energy Enviroment* dalam Biomassa Negara Swedia

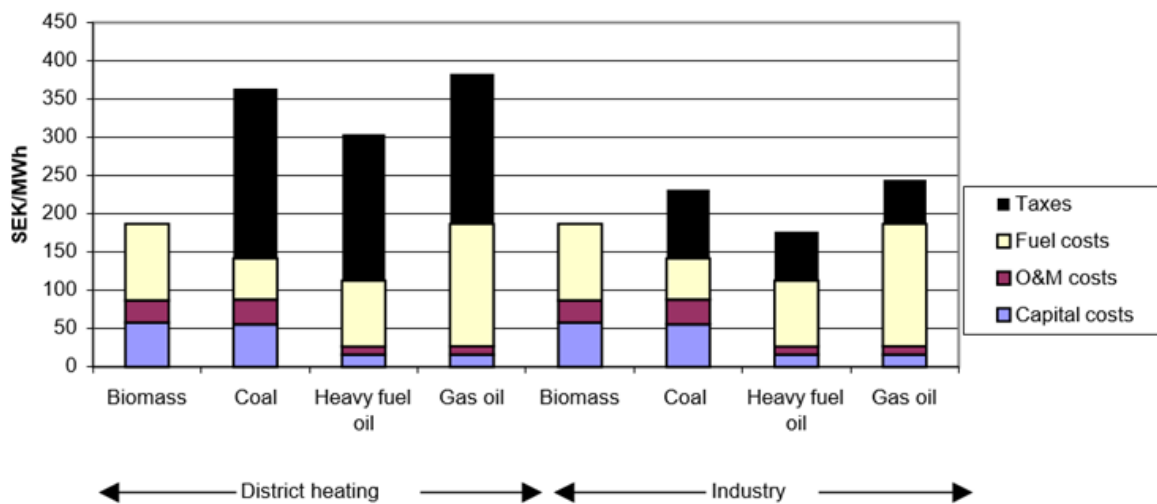
Energy Enviroment atau energi lingkungan adalah konsep yang berkaitan dengan sumber daya energi yang bersifat ramah lingkungan dan berkelanjutan. Ini mencakup upaya untuk menggunakan sumber daya energi yang tidak hanya efisien tetapi juga tidak merusak lingkungan atau memberikan dampak negatif yang minimal. Energi lingkungan sering kali dikaitkan dengan upaya untuk mengurangi jejak karbon, mengurangi polusi udara dan air, serta mendukung prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan.

Beberapa bentuk energi lingkungan melibatkan penggunaan sumber daya alam yang dapat diperbarui, seperti energi matahari, angin, air, dan biomassa. Teknologi energi terbarukan ini dianggap lebih ramah lingkungan daripada sumber daya energi fosil, seperti batu bara dan minyak bumi, yang dapat menyebabkan emisi gas rumah kaca dan polusi udara. Upaya untuk beralih ke energi lingkungan biasanya melibatkan pengembangan teknologi baru, regulasi lingkungan yang ketat, dan kesadaran masyarakat tentang pentingnya menjaga keseimbangan ekologi. Ini adalah bagian integral dari respons global terhadap perubahan iklim dan upaya untuk mengurangi dampak negatif manusia terhadap lingkungan.

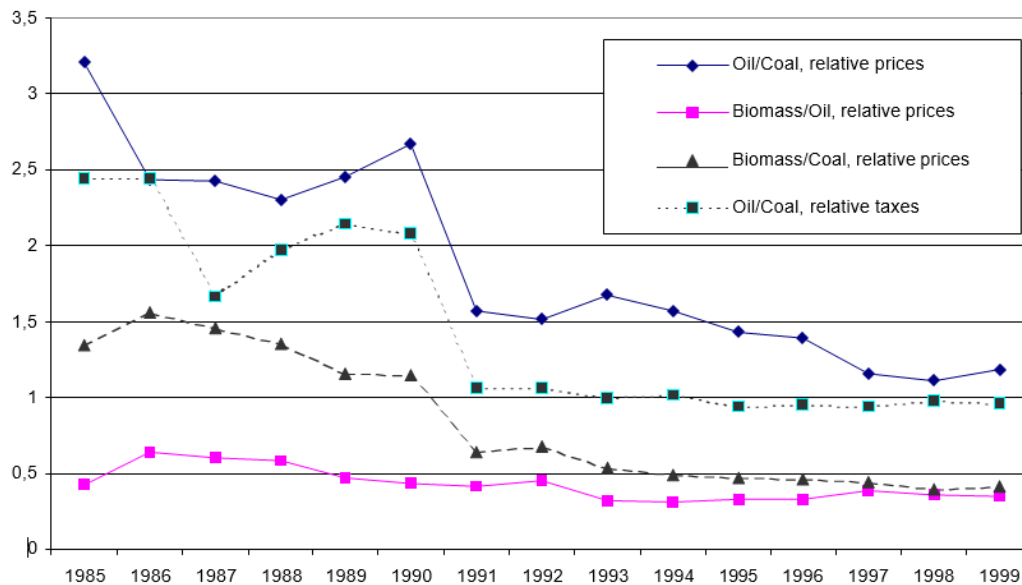
Energy enviroments dengan biomassa di Swedia menyoroti transisi Swedia dari energi fosil ke energi terbarukan, termasuk penggunaan biomassa. Swedia telah berhasil melakukan transisi dari energi fosil ke energi terbarukan karena keterbatasan cadangan energi fosil dan keinginan untuk tidak bergantung pada energi fosil dari luar negeri. Bioenergi untuk penggunaan akhir melebihi 30% dari keseimbangan energi Swedia, sementara rata-rata di seluruh Uni Eropa hanya 15% saja. Swedia juga memiliki hutan yang luas dan hidrografi yang bagus untuk digunakan sebagai pembangkit listrik tenaga air. Pada tahun 2014, energi primer Swedia terbagi dalam 3 faktor, di mana biomassa padat dan biogas digunakan untuk pemanasan, dan biofuel untuk mobilitas. Bahan bakar fosil hanya memainkan peran kecil dalam produksi listrik, kurang dari 2% di Swedia, dibandingkan dengan rata-rata Uni Eropa yaitu 45%. Meskipun Swedia belum menerapkan program Fossil-Fuel-Free sepenuhnya, penggunaannya terhadap energi terbarukan sudah cukup tinggi dibandingkan dengan negara maju lainnya.

Pajak energi mempunyai sejarah panjang di Swedia. Pajak yang tinggi atas produk minyak sudah diberlakukan di namun, angka ini meningkat, bahkan setelah referendum, dan mencapai tingkat tertinggi, 73,5 TWh, pada tahun 1991. tahun 1970-an sebagai salah satu cara untuk mencapai tujuan utama kebijakan energi saat itu, yaitu substitusi minyak. Selama tahun 1980an, hal ini menyebabkan penurunan yang signifikan dalam konsumsi minyak dan penggunaan minyak bumi biomassa, batubara dan listrik meningkat (Administrasi Energi Nasional Swedia, 2000a). Sebagai bagian dari reformasi perpajakan besar-besaran pada awal tahun 1990-an, terjadi perubahan signifikan dalam perpajakan energi. Pajak karbon (0,25 SEK/kg CO₂) diberlakukan bersamaan dengan penerapan pajak energi. Sistem perpajakan menjelaskan banyak peningkatan penggunaan biomassa di Swedia selama tahun 1990an. Pada tahun 2002, diputuskan untuk menaikkan pajak karbon umum sehubungan dengan inflasi. Biaya produksi panas dengan menggunakan bahan bakar yang berbeda pada akhir tahun 1990an. Dalam sistem pemanas distrik, panas berbasis biomassa dapat diproduksi dengan biaya yang jauh lebih rendah dibandingkan panas yang dihasilkan dari bahan bakar fosil. Namun dalam industri, panas yang dihasilkan dari minyak lebih murah dibandingkan panas yang dihasilkan dari biomassa.

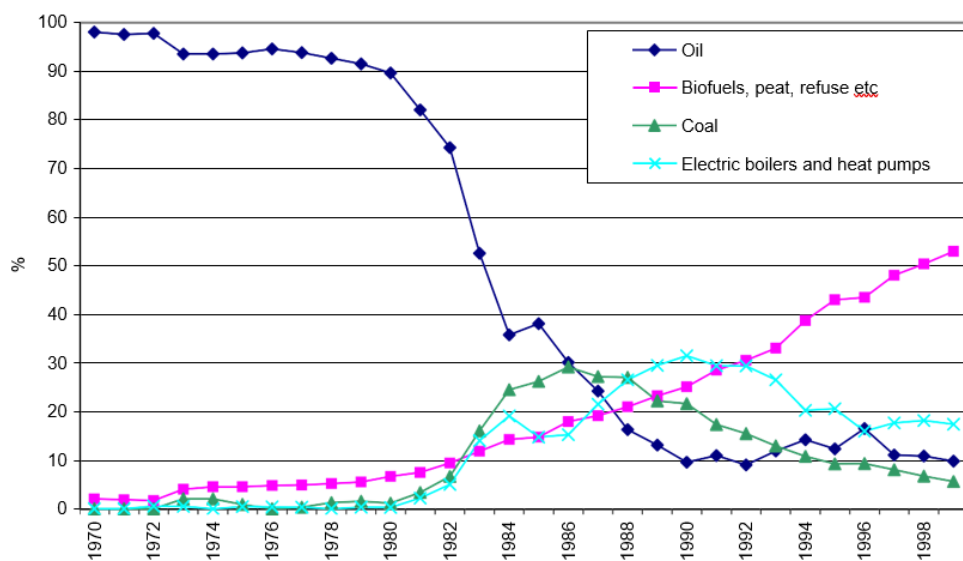
Ketergantungan harga energi pada pilihan bahan bakar pada sistem pemanas distrik dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6. Minyak merupakan bahan bakar yang mendominasi hingga tahun 1980. Pada tahun 1983, harga minyak, secara riil, telah meningkat hingga 3,6 kali lipat lebih tinggi dari tahun 1970 dan minyak digantikan oleh batu bara, ketel uap listrik dan pompa panas dengan cukup cepat (harga listrik hanya meningkat 30% selama periode yang sama secara riil). Pada tahun 1991, reformasi pajak menyebabkan harga batu bara menjadi dua kali lipat lebih tinggi dari harga sebelumnya dan batu bara digantikan oleh biomassa, yang bebas dari pajak dan menunjukkan penurunan harga berkat perkembangan teknologi dan tekanan pasar. Pada tahun 1999, biomassa, gambut dan sampah kota menyumbang lebih dari 50% dari total pasokan listrik daerah.



Gambar 4. Biaya produksi panas untuk pembangkit baru (Swedish National Energy Administration, 2000b). Perhitungannya didasarkan pada pajak yang berlaku pada tahun 1999, tingkat yang menentukan perkembangan penggunaan biomassa. Sejak tahun 1999 pajak karbon atas bahan bakar untuk pemanasan distrik telah meningkat sebesar 75%, sedangkan pajak atas bahan bakar yang digunakan dalam industri tidak berubah.



Gambar 5. Harga relatif minyak, batubara dan biomassa dari tahun 1983 hingga 1999. Harga relatif adalah harga rata-rata, diukur dalam SEK/ MWh, untuk konsumen energi panas yang membayar penuh pajak energi dan lingkungan hidup (Swedish National Energy Administration, 2000a).



Gambar 6. Bagian dari total pasokan energi ke sistem pemanas distrik Swedia untuk pemilihan bahan bakar dan sistem pemanas listrik dari tahun 1970 hingga 1999 (Administrasi Energi Nasional Swedia, 2000a).

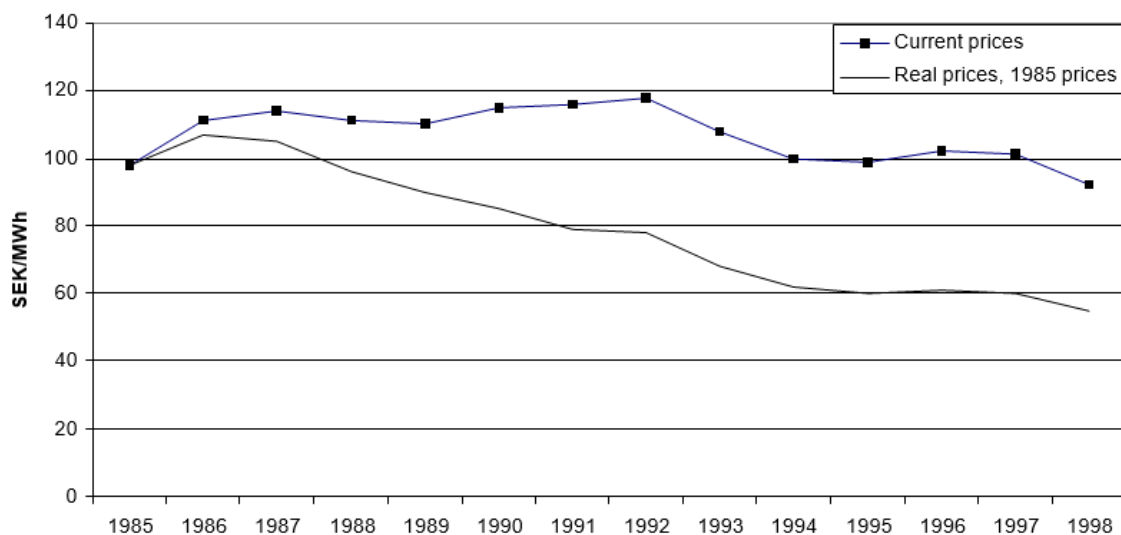
Energi biomassa memegang peranan penting dalam menyediakan ketersediaan energi di Swedia serta kelestarian alam. Penggunaan bahan dasar biomassa pada setiap negara dapat berbeda, dan Swedia telah berhasil memanfaatkan bioenergi untuk penggunaan akhir melebihi 30% dari keseimbangan energi negaranya. Dengan demikian, Swedia telah berhasil memanfaatkan biomassa

sebagai bagian penting dari transisi mereka menuju energi terbarukan, dengan bioenergi menjadi kontributor utama dalam keseimbangan energi negara tersebut.

4.2. Analisis Energy Economics dalam Energi Terbarukan Biomassa di Negara Swedia

Energy *economics* atau ekonomi energi merujuk pada cabang ekonomi yang mempelajari produksi, distribusi, dan konsumsi energi. Ini melibatkan analisis tentang bagaimana sumber daya energi dimanfaatkan, harganya ditentukan, dan bagaimana kebijakan dan pasar dapat memengaruhi dinamika energi.

Energy *Economics* dengan biomassa di Swedia menyoroti peran biomassa dalam transisi energi negara tersebut menuju energi terbarukan. Swedia telah berhasil melakukan transisi dari energi fosil ke energi terbarukan, dengan bioenergi untuk penggunaan akhir melebihi 30% dari keseimbangan energi negara tersebut, sementara rata-rata di seluruh Uni Eropa hanya 15%. Hal ini menunjukkan bahwa Swedia telah berhasil memanfaatkan biomassa sebagai bagian penting dari transisi mereka menuju energi terbarukan, dengan bioenergi menjadi kontributor utama dalam keseimbangan energi negara tersebut.



Gambar 7. Harga bahan bakar hutan di Swedia dari tahun 1985 hingga 1999 (Swedish National Energy Administration, 2000a).

Pengembangan pemanfaatan biomassa sebagai sumber energi terbarukan di Swedia. Penelitian ini memberikan rekomendasi kebijakan yang optimal untuk mengembangkan pemanfaatan biomassa sebagai sumber energi terbarukan, baik dalam sisi produksi maupun pengembangan permintaan untuk penggunaan dalam negeri. Tantangan utama dalam pengembangan dan pemanfaatan energi biomassa di Swedia adalah pengembangan produksi energi biomassa untuk memenuhi permintaan pasar, perluasan pemanfaatan dan permintaan energi biomassa di dalam negeri, dan pengembangan sistem kelembagaan tata kelola industri dan pasar pelet kayu.

Dalam upaya mempercepat transisi dari batubara ke energi terbarukan, pemerintah Swedia juga mendorong pemanfaatan biomassa berbasis kayu sebagai sumber energi terdistribusi. Pengembangan

biomassa berbasis kayu akan menggunakan pemanfaatan hutan produksi dan pemanfaatan lahan yang rusak dan tidak produktif, sehingga tidak perlu melakukan alih fungsi dari hutan alam. Dukungan pemerintah Swedia terhadap pengembangan biomassa sebagai sumber energi terbarukan menunjukkan bahwa penggunaan biomassa dalam konteks energi ekonomi dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam transisi menuju energi terbarukan dan kesejahteraan ekonomi negara tersebut.

Selain itu, menyoroti bahwa Swedia tidak memiliki cadangan energi fosil yang banyak, sehingga mereka harus mencari solusi lain agar tidak terlalu bergantung pada energi fosil yang berasal dari luar negeri. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan biomassa sebagai sumber energi dapat membantu Swedia dalam mengurangi ketergantungannya pada energi fosil dari luar negeri, yang pada gilirannya dapat berdampak positif terhadap kesejahteraan ekonomi negara tersebut. Dengan demikian, artikel tersebut menunjukkan bahwa penggunaan biomassa dalam konteks energi economics di Swedia telah memberikan kontribusi yang signifikan dalam transisi mereka menuju energi terbarukan, serta dalam mengurangi ketergantungan pada energi fosil dari luar negeri.

5. Kesimpulan

Berdasarkan artikel yang membahas *energy enviroments* dengan biomassa di Swedia, dapat disimpulkan bahwa Swedia telah berhasil melakukan transisi dari energi fosil ke energi terbarukan dengan memanfaatkan biomassa sebagai sumber energi utama. Bioenergi untuk penggunaan akhir melebihi 30% dari keseimbangan energi Swedia, sementara rata-rata di seluruh Uni Eropa hanya 15%. Swedia juga memiliki hutan yang luas dan hidrografi yang bagus untuk digunakan sebagai pembangkit listrik tenaga air. Penggunaan biomassa sebagai sumber energi dapat membantu Swedia dalam mengurangi ketergantungannya pada energi fosil dari luar negeri, yang pada gilirannya dapat berdampak positif terhadap kesejahteraan ekonomi negara tersebut. Dengan demikian, penggunaan biomassa dalam konteks *energy economics* di Swedia telah memberikan kontribusi yang signifikan dalam transisi mereka menuju energi terbarukan.

Daftar Pustaka

- A. Lundborg, A sustainable forest fuel system in Sweden, *Biomass & Bioenergy* 15 (1998) 399.
Administrasi Energi Nasional Swedia. 2000a. Energi di Swedia. Eskilstuna, Swedia.
- B. Olerup, Deciding on biomass in Haßselby, *Energy Policy* 22 (1994) 415.
- B. Stromberg, Buku Panduan Bahan Bakar, laporan V armeforsk no. 971, Stockholm, 2006
- Badan Energi Swedia (SEA), 2003c. Pasar Listrik 2003.
- European Commission, A Roadmap for Moving to a Competitive Low Carbon Economy in 2050, 2011.
- European Environmental Agency, EU Bioenergy Potential from a Resource- efficiency Perspective, EEA report No. 6/2013, Copenhagen, 2013.
- F. Dumeignil, Eurobioref: a step forward to next-generation biorefineries, in:
- H. Haegermark, Priorities of energy research in Sweden, in: S. Silveira (Ed.), *Building Sustainable Energy Systems - Swedish Experiences*, Bulls Tryck- eriaktiebolag, Halmstad, 2001, p. 163.
- H. Lund, S. Werner, R. Wiltshire, S. Svendsen, J.E. Thorsen, F. Hvelplund, et al., 4th Generation District Heating (4GDH): integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems, *Energy* 68 (2014) 1.
- IEA, *Energy Balances for OECD Countries until 2013*, International Energy Agency, Paris, 2015.

- Johansson, B., 2002. Biomassa dan Kebijakan Energi Swedia. Studi Sistem Lingkungan dan Energi, Universitas Lund. http://www.miljo.lth.se/svenska/internt/publikationer_internt/pdf-filer/biopolicy.pdf _Kling, J., 2003. Listrik berlabel ramah.
- K. Ericsson, L.J. Nilsson, Assessment of the potential biomass supply in Europe using a resource-focused approach, *Biomass Bioenergy* 30 (2006)
- K. Ericsson, L.J. Nilsson, International biofuel traded A study of the Swedish import, *Biomass Bioenergy* 26 (2004) 205.
- K. Ericsson, S. Huttunen, L.J. Nilsson, P. Svenningsson, Bioenergy policy and market development in Finland and Sweden, *Energy Policy* 32 (2004) 1707
- K. Mahapatra, L. Gustavsson, R. Madlener, Bioenergy innovations: the case of wood pellet systems in Sweden, *Technol. Analysis Strategic Manag.* 19 (2007) 99.
- M. Junginger, A. Faaij, R. Bjoerheden, W.C. Turkenburg, Technological learning and cost reductions in wood fuel supply chains in Sweden, *Biomass Bioenergy* 29 (2005) 399.
- M. Junginger, E. de Visser, K. Hjort-Gregersen, J. Koornneef, R. Raven, A. Faaij, et al., Technological learning in bioenergy systems, *Energy Policy* 34 (2006) 4024.
- N.H. van der Linden, M.A. Uytterlinde, C. Vrolijk, L.J. Nilsson, K. Åstrand, K. Ericsson, et al., Review of International Experience with Renewable Energy Obligation Support Mechanisms, ECN publication ECN-Ce05e025: Energy Research Centre of the Netherlands, 2005.
- Obenberger, D. Baxter, A. Grassi, P. Helm (Eds.), 23rd European Biomass Conference and Exhibition, ETA-Florance Renewable Energies, Vienna, 2015, p. 898.
- R. Bjoerheden, Drivers behind the development of forest energy in Sweden, *Biomass Bioenergy* 30 (2006) 289.
- Research Centre of the Netherlands, 2005. M. Junginger, A. Faaij, R. Bjoerheden, W.C. Turkenburg, Technological learning and cost reductions in wood fuel supply chains in Sweden, *Biomass Bioenergy* 29 (2005) 399.
- S. Anderson, H. Eriksson, J. Stendahl, Slutrapport Från Arbetet Med Aktoers- rådet Kring Askåterfoering, Skogsstyrelsen Final Report from the Work with Actor Council Concerning Ash Recycling, Swedish Forest Agency, Joenkoeping, 2014.
- S. Berg, Harvesting technology and market forces affecting the production of forest fuels from Swedish forestry, *Biomass Bioenergy* 24 (2003) 381.
- S. Jacobsson, The emergence and troubled growth of a 'biopower' innovation system in Sweden, *Energy Policy* 36 (2008) 1491.
- Statistics Sweden, Electricity Supply, District Heating and Supply of Natural Gas 2014, Statistiska Meddelanden EN11SM1501, 2015.
- Statistics Sweden, Wood fuel and Peat Prices, Statistiska Meddelanden EN0307SM1503, 2015.
- Swedish Forest Agency, Swedish Statistical Yearbook of Forestry. Joenkoeping, 2014.
- Swedish Government, Regeringens Proposition 1982/83:167 Om Aendring, Byggnadslagen (Government bill 1982/83:167 on changes in the building act), Stockholm, 1983.
- Swedish Government, Regeringens proposition 2008/09:162 om en sam- manhållen klimat- och energipolitik (Government bill 2008/09:162 about a coherent climate and energy policy), Stockholm, 2009.

Swedish Governmental Investigation, Bioenergi från jordbruket - en växande resurs (Bioenergy from agriculture - A growing resource), Statens offentliga utredningar SOU, 2007, p. 36. Stockholm 2007.

Swedish Parliament, SFS 1987:588, Lag Om Trafiberråvara (The Wood Fibre Act), Stockholm, 1987.

Swedish Parliament, SFS1981:599, Lag Om Utörande A Eldningsanläggningar För Fastbränsle (Avslutad I SFS 1994:793) (Act for design of heating plants for solid fuels (terminated in SFS 1994:793), Stockholm, 1981.