

# Desain Konseptual *Hybrid Propulsion* Mesin Diesel dengan Motor Listrik pada Tugboat 70 Ton *Bollard Pull* Untuk Aplikasi di Pelabuhan

Imron Noor Ardiwijaya, Indrajaya Gerianto, I Made Ariana

Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

Email: [igrianto@its.ac.id](mailto:igrianto@its.ac.id), [ariana@its.ac.id](mailto:ariana@its.ac.id)

**Abstrak**— Tugboat adalah salah satu jenis kapal yang berfungsi untuk membantu menarik kapal besar di area pelabuhan. Dalam menjalankan kerjanya, tugboat beroperasi pada mode operasi yang berbeda – beda. Mode operasi kerja tugboat tersebut adalah sebagai berikut mode *standby*, mode *cruising*, dan mode *assisting*. Mode operasi tugboat yang berbeda – beda mengakibatkan konsumsi bahan bakar tidak optimal. Salah satu alternative untuk mengatasi hal tersebut adalah dengan menggunakan system tenaga penggerak hybrid atau *Hybrid propulsion system*. *Hybrid propulsion system* adalah konfigurasi permesinan dengan dua sistem tenaga penggerak. Sistem tenaga penggerak hybrid bekerja pada setiap mode operasi dari tugboat untuk mengoptimalkan kerja dan konsumsi bahan bakar penggerak utama. *Hybrid propulsion system* tersusun dari 2 mesin diesel dan 2 motor listrik. Dengan menggunakan system tenaga penggerak hybrid dapat menghemat bahan bakar hingga 50 % dari permesinan konvensional.

**Kata Kunci**— *Hybrid propulsion system, konfigurasi permesinan, konsumsi bahan bakar.*

## I. PENDAHULUAN

Harbour tug adalah kapal jenis tug boat yang beroperasi di pelabuhan yang bertugas untuk membantu kapal-kapal yang akan berlabuh ke dermaga untuk melaksanakan kegiatan bongkar muat. Mode operasi dari tugboat dapat terdiri dari *standby*, *assist*, *cruising* atau *free running*. Dalam setiap moda operasinya tugboat tersebut memerlukan daya yang berbeda. Dalam kondisi assist daya yang diperlukan adalah 100 % dari daya seluruh mesin karena kondisi ini sedang menarik kapal. Sedangkan dalam kondisi *cruising* atau keadaan *free running* tugboat menggunakan daya sekitar 10-30 % dari daya total mesin penggerak utama. Dan dalam kondisi *standby* menggunakan daya 10 – 20 % dari daya untuk menjaga posisi tugboat tersebut. Dalam waktu satu bulan kerja operasi tugboat tidak selalu dalam kondisi 100 % daya mesin utama.

Karakteristik dari mesin adalah jika mesin sering bekerja pada daya kurang dari 75 % daya keseluruhan, *Time Between Overhaul* (TBO) akan semakin cepat. Semakin cepat dan pendeknya TBO dari suatu mesin akan merugikan dari pemilik kapal karena akan mengurangi dari operasional dari kapal.

Dari *operasional cycle* pada setiap mode operasional tugboat tersebut, perlu di desain sebuah propulsi system yang menghasilkan kerja kapal pada kondisi yang optimal. Konfigurasi propulsi yang umum pada tugboat adalah menggunakan mesin diesel untuk menggerakkan propeller.

Konfigurasi ini memiliki kelemahan yaitu pada pemakaian dari daya mesin yang bekerja pada mode operasi *standby* dan *cruising* karena dalam mode operasi tersebut tugboat bekerja pada daya 10 – 30 % daya. Alternative desain yang bisa digunakan untuk saat ini adalah system hybrid propulsion.

Dalam kondisi Hybrid, mode operasi *cruising* dan *standby* pada kapal akan menggunakan system propulsi lain dari mesin diesel yaitu motor listrik. System hybrid yang dibicarakan adalah *hybrid propulsi* yang dimana ketika dalam mode operasi tugboat *cruising* dan *standby* menggunakan motor listrik karena tidak membutuhkan daya yang tidak besar, dan tugboat bekerja pada kondisi *assisting* tugboat membutuhkan kinerja daya yang besar menggunakan daya yang berasal dari mesin penggerak utama. Sehingga daya yang digunakan pada setiap mode operasi tugboat akan lebih optimal dalam kondisi kerjanya.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Karakteristik Kapal Jenis Tugboat.

Tugboat adalah jenis kapal yang digunakan untuk membantu menarik ataupun mendorong kapal lain. Baik kapal – kapal besar yang akan bersandar kepelabuhan maupun kapal – kapal yang tidak mempunyai penggerak sampai bangunan lepas pantai. Sesuai dengan tenaga pendorongnya, fungsi tugboat pada umumnya adalah

- Menarik atau mendorong kapal – kapal yang berukuran besar yang kesulitan bersandar di dermaga. Contoh tanker, kapal induk maupun kapal – kapal yang tidak memiliki penggerak sendiri. Contoh kapal tongkang, Serta memindahkan bangunan lepas pantai.
- Membantu melaksanakan *mooring* dan *unmooring* kapal – kapal niaga.
- Membantu memadamkan api jika terjadi kebakaran dipelabuhan maupun dikapal karena tugboat yang dilengkapi dengan pompa air.

### B. Mode Operasi Tugboat Pelabuhan ( Harbour Tug)

Mode Operasi tugboat dalam kondisi kerjanya memiliki berbagai macam kondisi kerja dan berbagai macam daya yang digunakan dalam setiap mode operasinya. Macam – macam mode operasi tugboat sebagai berikut :

- Mode operasi *standby*

Mode operasi *standby* adalah mode operasi tugboat yang berada di laut lepas kondisi dimana kapal menggunakan daya dari penggerak untuk mempertahankan posisinya disaat tugboat sudah dekat dengan kapal yang akan ditarik dan menunggu perintah untuk menarik tali dari kapal yang akan dipandu. Mesin bekerja pada 10-15% daya total mesin utama. Kondisi ini tugboat bekerja pada kecepatan 1-2 knot dalam menjaga posisinya.

#### b) Mode operasi *freerunning*

Mode operasi ini adalah kondisi kerja dimana tugboat bekerja tanpa ada beban atau bekerja saat tugboat berlayar dari pelabuhan ke laut lepas untuk menjemput kapal yang akan ditarik menuju ke pelabuhan. Pada kondisi ini tugboat bekerja pada kecepatan 7-12 knot. Daya mesin yang digunakan pada mode ini 25-35 % dari daya total mesin utama yang ada di tugboat.

#### c) Mode operasi menarik atau *assisting*

Kondisi dimana tugboat sedang menarik kapal besar yang akan merapat kepelabuhan dimana kondisi tugboat bekerja pada kecepatan 2-5 knot. Kondisi ini tugboat bekerja pada keadaan mesin *full throthlle* atau kondisi mesin bekerja penuh.

### C. *Bollard Pull*

*Bollard Pull* adalah kemampuan dari daya tarik beban statis tugboat menarik suatu beban. *Bollard pull* dihasilkan dari daya mesin yang dikombinasikan dengan *thrust propeller* sehingga menghasilkan daya dorong pada tugboat. *Bollard pull* di dapatkan pada saat pengujian tugboat yang dikaitkan dengan tali pada *towing hook* tugboat di ikatkan pada bollard yang tertanam pada dermaga. Daya Tarik tugboat di uji sampai berapa ton kemampuan daya tariknya. *Bollard pull* di hasilkan oleh daya mesin yang di salurkan melalui *thrust propeller* sehingga mendapatkan torsi yang diinginkan.

### D. Karakteristik motor listrik

Motor listrik adalah motor yang bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik dari kumparan stator kepada kumparan rotornya, dimana arus rotor motor yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relative antara putaran rotor dengan medan putar yang dihasilkan oleh arus rotor. Motor induksi yang umum dipakai adalah motor induksi 3 fase dan motor induksi 1 fase. Motor induksi 3 fase dioperasikan pada system tenaga 3 fase dan banyak digunakan di dalam berbagai bidang industry dengan kapasitas yang besar.

### E. *System Propulsi Hybrid*

Memperhatikan tentang kelangsungan bahan bakar fosil yang digunakan pada system tenaga penggerak kapal menyebabkan mendorong pemerintah untuk menegakan peraturan yang lebih ketat untuk tentang emisi. Peraturan yang lebih ketat ini memaksa pemilik kapal dan desainer kapal untuk mengevaluasi kembali desain dari propulsi kapal dan system powering. Salah satunya solusi yang bisa dilakukan adalah menerapkan teknologi hybrid system penggerak.

Metode penelitian mengenai teknologi Hybrid yang menggabungkan penggerak utama ( diesel engine ) dan penyimpanan ( baterai ) telah berhasil digunakan dalam kendaraan industry otomotif dan telah terbukti pengurangan emisi CO<sub>2</sub> [1].

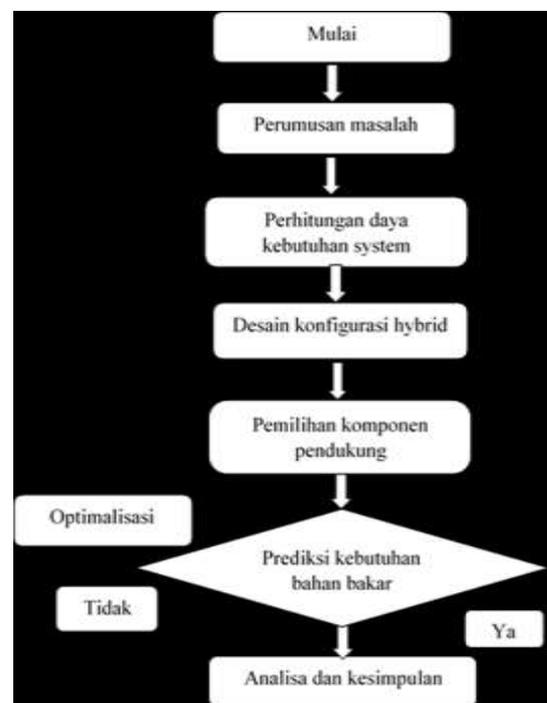
Berbagai konfigurasi rancangan kamar mesin dari tugboat yang menjadi penelitian dari Klien Woud. Dimana menunjukan tugboat yang mempunyai 2 propeller yang digerakkan langsung oleh 2 mesin diesel. Sedangkan konsumsi beban elektrikal di *supply* 2 generator yang dirangkai secara parallel. Dengan konfigurasi seperti ini kurang efektif dimana kebutuhan bahan bakar menjadi besar. Sehingga pada laju kebutuhan bahan bakar menjadi besar dan emisi yang besar dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan.

Kelebihan system hybrid ini adalah dalam hal efisiensi bahan bakar. Dalam suatu system hybrid yang ideal, system akan secara otomatis menentukan sumber tenaga yang paling efisien untuk beban yang ada. Saat tugboat dengan kondisi beban daya besar maka sumber tenaga yang dapat bekerja adalah dari mesin diesel dan saat daya rendah menggunakan motor listrik.

## III. METODOLOGI PENELITIAN

### A. Diagram Alir Penelitian

Dalam pengerjaan penelitian ini, perunusan masalah pada pembentukan system hybrid *propulsion* pada tugboat 70 ton *bollard pull* dengan menentukan konfigurasi permesinan penggerak, pemilihan komponen pendukung *system hybrid*, dan prediksi kebutuhan bahan bakar pada *system hybrid*. Batasan masalah dalam penelitian ini hanya membahas terkait konfigurasi hybrid *propulsion system*, analisa kebutuhan daya pada setiap mode operasi tugboat dan analisa kebutuhan bahan bakar. Pembuatan konfigurasi *Hybrid Propulsion System* melalui metode yang digambarkan sebagai berikut :



Gambar 1. Diagram Alir Pengerjaan

IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan Tahanan Tugboat

Kondisi kerja tugboat memiliki mode operasi yang berbeda – beda, sehingga dalam penggunaan daya yang dibutuhkan berbeda. Perhitungan tahanan adalah untuk menentukan besarnya daya dalam kondisi kondisi *cruising*, kondisi tugboat bekerja tanpa beban tarik. Berikut data utama kapal untuk menghitung besarnya tahanan pada tugboat yang akan di rencanakan :

Tabel 1. Dimensi tugboat

Ukuran utama tugboat	
<b>L</b>	: 24.47 m
<b>B</b>	: 11.33 m
<b>H</b>	: 6.70 m
<b>T</b>	: 5.35 m
<b>Vsea</b>	: 10 knot : 5.144 m / s
<b>Cb</b>	: 0.53

B. Perhitungan Kebutuhan Daya Penggerak Pada setiap Mode Operasi.

Perhitungan daya penggerak ini dihitung pada setiap mode operasi kerja dari tugboat. Tugboat tidak mempertimbangkan terkait dengan kecepatan melainkan dengan daya tarik dari tugboat yang di hasilkan dengan konfigurasi permesinan yang ada. Mode operasi tugboat ada beberapa yaitu *standby*, *cruising*, dan *assisting*. Pada setiap mode operasinya daya yang dibutuhkan berbeda – beda, sehingga konfigurasi hybrid ini disesuaikan dengan mode operasi dari tugboat tersebut.

B.1. Perhitungan Daya saat *Bollard Pull Test*.

Bollard Pull adalah kemampuan dari daya tarik beban statis tugboat menarik suatu beban. Bollard pull dihasilkan dari daya mesin yang dikombinasikan dengan thrust propeller sehingga menghasilkan daya dorong pada tugboat. Bollard pull di dapatkan pada saat pengujian tugboat yang dikaitkan dengan tali pada towing hook kapal di ikatkan pada bollard yang tertanam pada dermaga.

Untuk menghitung daya mesin dapat dihitung saat bollard test dengan hasil thrust yang di dapatkan dari grafik diagram *open water test* Kaplan series (  $K_a$  – series ) pada saat *bollard pull test*. Mesin yang dipasang pada tugboat adalah mesin dengan daya *Maksimum Continous Rating (MRC)* dari perhitungan daya mesin saat kondisi *Bollard Pull Test*.

B.2 Perhitungan Daya Saat Mode *Cruising*.

Kondisi *cruising* adalah kondisi dimana tugboat bekerja dengan tanpa beban tarik, sehingga daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan tugboat melawan tahanan pada kecepatan tersebut. Daya yang diperlukan pada kecepatan tertentu dari nilai tahanan tugboat yang dihasilkan.

Pada kondisi *cruising*, system penggerak ini adalah menggunakan motor listrik yang sumber listriknya berasal dari generator set yang dipasang pada tugboat.

B.3. Perhitungan Daya Saat Mode *Standby*

Mode operasi *standby* adalah mode operasi tugboat yang berada di laut lepas kondisi dimana kapal menggunakan daya dari penggerak untuk mempertahankan posisinya disaat

tugboat sudah dekat dengan kapal yang akan ditarik dan menunggu perintah untuk menarik tali dari kapal yang akan dipandu. Kondisi ini tugboat bekerja pada kecepatan 1-2 knot dalam menjaga posisinya.

Dalam mode *standby*, untuk menggerakkan propeller, daya berasal dari motor listrik yang daya listrik ini berasal dari generator set pada tugboat.

B.4. Perhitungan Daya Saat Mode *Assisting*

Mode operasi *Assisting* ini adalah mode operasi tugboat yang sedang menarik kapal besar untuk merapat kepelabuhan. Dalam kondisi ini tugboat bekerja menggunakan daya yang besar sehingga menggunakan permesinan diesel untuk menghasilkan thrust propellernya. Dalam kondisi hybrid, saat mode *Assisting* tugboat bekerja hanya menggunakan mesin diesel dan motor listrik di matikan.

C. Perhitungan Kebutuhan Listrik

Perhitungan kebutuhan daya listrik ini digunakan untuk menentukan daya genset yang nantinya akan digunakan pada tugboat. Pada kondisi permesinan konvensional, daya listrik ini untuk memenuhi seluruh komponen yang ada pada tugboat. Dalam kondisi hybrid, kebutuhan listrik pada tugboat akan ditambahkan dengan besarnya kebutuhan listrik untuk menggerakkan motor listrik pada mode operasinya.

Tabel 2. Komponen pada Tugboat

	<i>Equipment</i>
1	<i>Deck Crane</i>
2	<i>Anchor Winch</i>
3	<i>fifi Pump</i>
4	<i>Fuel oil system</i>
5	<i>Lubricating Oil system</i>
6	<i>Navigation and Communication Equipment</i>
7	<i>Compressed Air System</i>
8	<i>Cooling system</i>
9	<i>General servise</i>

D. Komponen pendukung system hybrid.

Hybrid propulsion system dapat bekerja baik dengan pendukung komponen lain. Dengan penambahan motor listrik pada system propulsi kapal menunjukkan perlunya ada penambahan komponen untuk menunjang system tersebut agar dapat bekerja. Motor listrik adalah sumber tenaga gerak yang berasal dari tenaga listrik yang berasal dari generator kemudian di salurkan ke motor listrik sehingga menjadi sumber tenaga gerak baru di dalam konfigurasi system tersebut.

Untuk mengatur putaran motor listrik dibutuhkan alat *Variable Speed Drive (VSD)*. Ini digunakan untuk mengatur putaran motor listrik, yang berfungsi menyesuaikan putaran motor listrik pada setiap kondisi

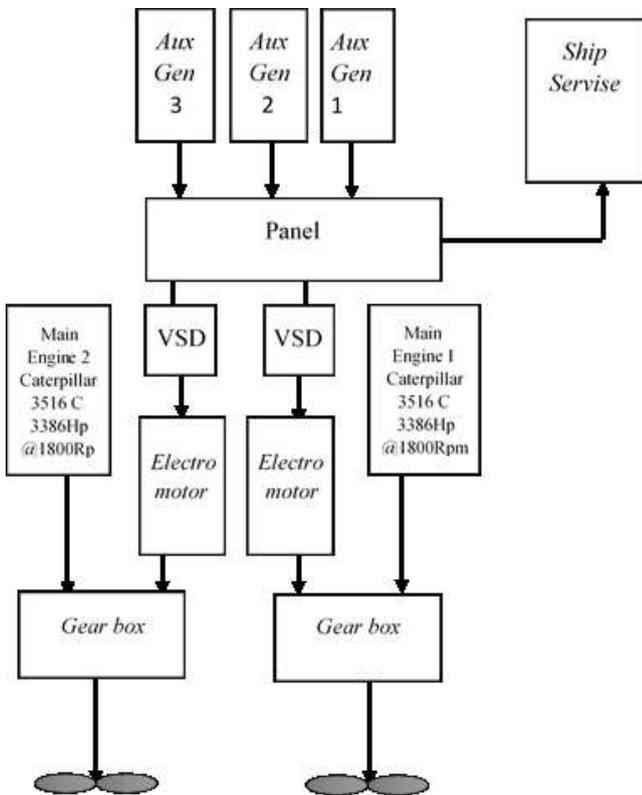
kecepatan kapal. Pengaturan putaran motor listrik disebabkan untuk mempertimbangkan kondisi kerja putaran motor listrik tidak selalu sama pada setiap kondisi kerja. Diperlukan variasi putaran motor listrik untuk mengoptimalkan kerja motor listrik di setiap putaran yang dihasilkan.

Pemilihan gearbox dengan *power take off* system adalah dengan masuknya dua sumber tenaga gerak untuk menghasilkan satu hasil keluaran, dengan cara kerja sumber tenaga gerak bekerja secara bergantian / bekerja secara *independent* masing – masing sumber tenaga gerak. *Power take off system* ini adalah dengan system sumber tenaga gerak bekerja secara bergantian saat dibutuhkan, dalam hal ini adalah motor listrik dan mesin diesel. Ini dilakukan karena dengan mempertimbangkan beberapa hal pada karakteristik kerja masing – masing sumber tenaga gerak yang berbeda sehingga sumber tenaga bekerja pada masing – masing mode yang dibutuhkan.

E. Desain konfigurasi Hybrid System

Desain konfigurasi system adalah pemodelan pembentukan system untuk menjadi suatu *hybrid propulsion system*. Beberapa hal lain juga dipertimbangkan dalam pemodelan ini system, komponen pendukung bekerja dengan baik dan juga penggunaan bahan bakar yang lebih hemat.

Desain konfigurasi ini menggunakan *power take off system* dimana menggunakan dua sumber tenaga kerja yang bekerja secara masing – masing untuk menghasilkan gerak pada *propeller* pada setiap kondisi kerja pada tugboat.



Gambar 2. konfigurasi *hybrid propulsion system* motor listrik dengan motor diesel.

Desain konfigurasi yang dibentuk adalah berupa penambahan motor listrik pada desain permesinan yang umum pada tugboat. Dan juga penambahan komponen

pendukung untuk membantu agar system hybrid ini bisa bekerja seperti *variable speed drive* untuk mengatur putaran pada motor listriknya.

Konfigurasi hybrid ini adalah dengan penambahan motor listrik dan komponen pendukung untuk menjadi hybrid propulsi.

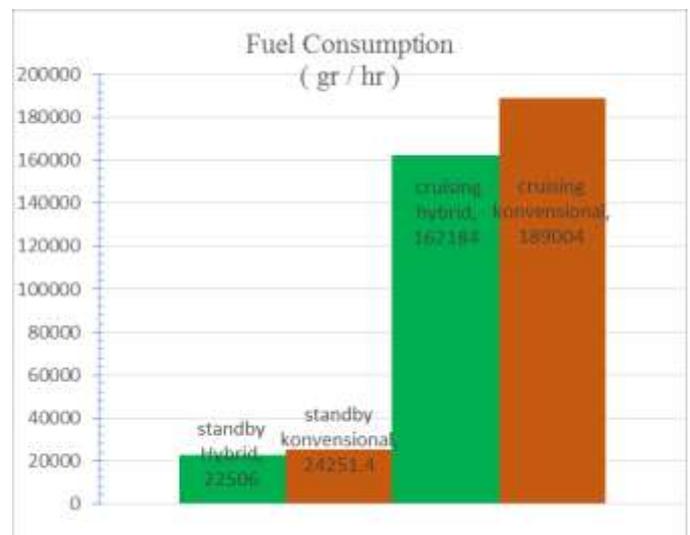
Tabel 3. Komponen Permesinan Hybrid pada tugboat

Device	Mode Operasi Tugboat		
	Stanby	Cruissing	Asissting
1. Main Engine 1	Off	Off	On
2. Main Engine 2	Off	Off	On
3. Electro motor 1	On	On	Off
4. Electro motor 2	On	On	Off
5. Genset 1	On	On	On
6. Genset 2	Off	On	Off
7. Genset 3	Off	Off	Off

F. Perhitungan Prediksi Kebutuhan Bahan Bakar.

Perhitungan kebutuhan bahan bakar untuk mengetahui jumlah kebutuhan bahan bakar dari tugboat tersebut untuk selang waktu tertentu pada semua mode operasi tugboat tersebut. Konsumsi bahan bakar pada mesin diesel dapat digambarkan dalam beberapa cara berdasarkan aplikasinya. Pada putaran yang konstan, total konsumsi bahan bakar bervariasi secara linier dengan besarnya beban pada mesin diesel.

Prediksi kebutuhan bahan bakar ini untuk mengetahui kebutuhan bakar pada konfigurasi permesinan konvensional dan kebutuhan bakar pada konfigurasi hybrid pada semua mode operasi dari tugboat. Perhitungan bahan bakar ini meliputi semua kebutuhan bahan bakar yang digunakan pada semua mode operasi tugboat, meliputi perhitungan kebutuhan bahan bakar pada mesin diesel dan dari *auxiliary engine* pada semua mode operasi tugboat.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Konsumsi Bahan Bakar

## V. KESIMPULAN

berdasarkan dari penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan dalam penelitian ini, dapat disimpulkan penggunaan konfigurasi permesinan hybrid dengan menggunakan 2 motor listrik dan 2 mesin diesel pada tugboat dapat menghasilkan penghematan bahan bakar hingga 30 % dari pada konfigurasi permesinan konvensional. Frekuensi dari maintenance mesin diesel akan semakin lebih kecil, time between overhaul dari mesin menjadi semakin lebih lama karena mesin bekerja selalu di atas 75 % dari daya.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alvarez, R., Schlienger, P., Weilenmann, M., (2010). *Effect of hybrid sytem battery performance on determing hybrid electric vehicles in real-world conditions*. Energy Policy doi:10.1016.