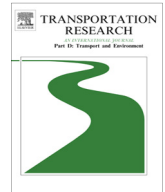


daftar isi yang tersedia di [ScienceDirect](#)

## Transportasi Penelitian Bagian D

jurnal homepage: [www.elsevier.com/cari/t/rd](http://www.elsevier.com/cari/t/rd)

# Penerapan AHP-TOPSIS untuk mengevaluasi sistem pengolahan air ballast oleh operator kapal

Pelorus, Hristos Karahalios <sup>†</sup>

Maritim Pendidikan Dept., 3, Makras Stoa Str., 18531 Piraeus, Yunani

## article info

## Pasal sejarah:

Menerima 29 September 2016 Revisi 31  
Januari 2017 Diterima 2 Maret 2017

## Kata kunci:

TOPSIS  
sistem pengolahan air pemberat pengelolaan  
air pemberat

## abstrak

The Ballast Water Manajemen Konvensi (BWM) diperkenalkan oleh Organisasi Maritim Internasional (IMO) dan bertujuan meminimalkan transfer patogen mikroorganisme ke wilayah laut ekologi sensitif, melalui ballast kapal oceangoing. Meskipun diharapkan akan diberlakukan di seluruh dunia, ada beberapa kekhawatiran tentang persyaratan teknis dari BWM dan khususnya, penerapan Treatment Sistem Air Ballast (BWTs) di atas kapal. Sampai saat ini, tidak ada mencukupi data mengenai kinerja BWTs yang ada membuat halangan untuk kebutuhan persetujuan mereka dengan beberapa negara. Dalam tulisan ini, metodologi yang diusulkan melibatkan penilaian ahli, dimanfaatkan untuk pemilihan BWTs oleh operator kapal. Sebagai bagian penting dari metodologi penelitian, yang TOPSIS dan Analytic Hierarchy Process (AHP) digabungkan, untuk menentukan biaya-manfaat pengambilan keputusan tool, yang akan berlaku untuk operator kapal. Dalam tulisan ini, sebuah studi kasus dilakukan, menunjukkan potensi metodologi dan mengevaluasi pilihan dari BWTs untuk kapal, perdagangan di Amerika Serikat.

2017 Elsevier Ltd All rights reserved.

## 1. Perkenalan

air pemberat adalah media yang ideal untuk menjaga keseimbangan dan stabilitas kapal tanpa muatan (Lacasa et al., 2013). Pemberat air dipompa dalam tangki yang ditunjuk atau memegang dalam kapal, yang digunakan untuk membawa air pemberat. Namun, debit air ballast di seluruh dunia mengarah ke risiko invasi biologi. Mikroorganisme ditransfer melalui air telah menunjukkan resistensi terhadap perjalanan panjang dalam tangki ballast kapal. Transfer organisme patogen melalui air pemberat telah terbukti menjadi ancaman besar bagi ekosistem lokal dan kesehatan masyarakat. air pemberat kapal adalah pertama diidentifikasi sebagai vektor untuk penyebaran Non-pribumi Aquatic Spesies Invasif, lebih dari 90 tahun yang lalu (Pam et al., 2013). Saat ini, spesies invasif ditemukan di 84% dari 232 eko-wilayah kelautan yang ada di seluruh dunia, dan air ballast debit eksotis telah diidentifikasi sebagai vektor utama untuk invasi spesies laut (Delacroix et al., 2013).

Ekosistem laut menderita pengenalan dan pembentukan spesies non-pribumi melalui debit air pemberat (Scriven et al., 2015). Misalnya, dalam survei dari echinodermata bathyal wilayah Bahama Kepulauan, sekitar 200 spesies dari echinodermata yang ditemui dan didokumentasikan; 33 spesies yang Echinoidea, kebanyakan dari mereka tersebar luas di wilayah Karibia umum (Pawson dan Pawson, 2013). Sebuah penelitian yang dilakukan oleh Steichen et al. (2014), Mendukung bahwa perdagangan global yang dilakukan oleh kapal-kapal, memberikan kontribusi untuk transportasi jarak jauh dari mikroorganisme eukariotik, meningkatkan tekanan propagul dan pasokan invasi pada ekosistem. Dalam cahaya dari pertumbuhan di pelayaran global lalu lintas fi c,

<sup>†</sup> Penulis yang sesuai.Alamat email: [info@pelorus.edu.gr](mailto:info@pelorus.edu.gr) (Pelorus), [hristos\\_karahalios@hotmail.com](mailto:hristos_karahalios@hotmail.com) (H. Karahalios).URL: <http://pelorus.edu.gr/> (Pelorus).

peningkatan ukuran kapal dan kapasitas dan pengenalan non-pribumi, spesies alga berbahaya, merupakan bidang perhatian tinggi (Garrett et al., 2014). Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa transportasi spesies alga racun-memproduksi dan beristirahat kista dalam air ballast kapal, menyediakan penjelasan yang mungkin untuk meningkatkan tren ganggang berbahaya (Brenner et al., 2014). Meskipun beberapa spesies endemik daerah, pekerjaan penelitian sangat menunjukkan bahwa beberapa spesies, seperti kista dari *Alexandrium Tamarense* ditemukan di pelabuhan Halifax, diperkenalkan melalui air ballast habis dan sedimen (Lacasse et al., 2013).

Emisi eksotis dari air pemberat telah mengancam lingkungan ekologi pesisir dan kesehatan masyarakat di banyak negara (Feng et al., 2015b). Seiden dan Rivkin (2014) menunjukkan bahwa populasi bakteri dalam perjalanan, dikendalikan oleh microzooplankton penggembalaan, yang dapat berpotensi memiliki konsekuensi kesehatan lingkungan dan manusia. David et al. (2013) menyajikan sebuah studi penilaian risiko untuk pembebasan, diterapkan untuk pengiriman intra-Baltik dan menyarankan, bahwa spesies diandalkan data pada port dianggap tidak tersedia. Dengan mengikuti prinsip kehati-hatian, tidak ada pengecualian harus diberikan di bawah setiap peraturan yang relevan.

Penyebaran spesies invasif melalui air ballast kapal dianggap sebagai ancaman ekologi utama untuk lautan di dunia. Sebagai reaksi terhadap ancaman, Organisasi Maritim Internasional (IMO) telah menetapkan beberapa standar kinerja untuk pembuangan air ballast (Stehouwer et al., 2013). Standar-standar ini termasuk dalam The Ballast Manajemen Air Convention (BWMC), yang merupakan seperangkat peraturan yang berhubungan dengan pengobatan mikroorganisme ini, selama perjalanan ballast kapal (IMO 2004). Selain itu, IMO telah mengembangkan 14 set pedoman dari Juli 2005 sampai Oktober 2008. BWMC mengharuskan semua kapal dari 400 gross ton (gt) dan di atas untuk mematuhi, sebagai berikut:

untuk memiliki di papan Rencana Pengelolaan disetujui Ballast Water (disetujui oleh kelas atau fl ag sesuai) untuk memiliki di papan Ballast Water Rekam Book

yang akan disurvei dan dikeluarkan dengan International Ballast Manajemen Air Certi fi cate untuk menginstal Pengolahan Air Sistem Ballast (BWTS)

Ketika BWMC diberlakukan, sebagian besar kapal kargo komersial akan perlu untuk mematuhi persyaratan di atas. Bahkan untuk kapal yang fl ag administrasi belum rati fi kasi yang BWM Konvensi, sebuah fi sertifikat yang atau pernyataan kepatuhan harus dikeluarkan. Di antara perubahan ini, isu yang paling penting adalah pengolahan air onboard. Sebuah operator kapal yang bijaksana harus membangun sistem yang mampu mengobati air pemberat dengan bahaya minimal terhadap lingkungan dan biaya terendah. Akibatnya, kertas diatur ke dalam lima bagian utama. Bagian ini mengungkapkan motivasi di balik penelitian. Bagian kedua mengkaji metode pengolahan air ballast, saat ini tersedia dan konsekuensinya. Bagian ketiga menjelaskan metodologi yang diusulkan, latar belakang teknis dan aplikasi terkait dalam literatur. Model demonstrasi disediakan dalam bagian empat. Bagian fi nal diakhiri dengan diskusi dan kontribusi asli dari makalah penelitian ini.

## 2. Sastra review pada BWTS

### 2.1. metode pertukaran air pemberat

Saat ini, biaya yang efisien cara untuk kapal untuk mengontrol debit air pemberat nya, sesuai dengan peraturan D-1 dari BWMC, adalah ketika ballast yang dipertukarkan. Kewajiban ini berlaku untuk pembuangan ballast, baik di laut maupun di pelabuhan. Efek berarti untuk menggantikan air dalam tangki pemberat, menggunakan salah satu metode berikut:

Mengalir melalui, dengan memompa keluar air pemberat di tengah laut dan terus menerus fi karena tangki dari atas sampai tiga volume penuh air telah berubah. Pembuluh wajib melakukan pertukaran air ballast (BWE), di kejauhan lebih lama dari 200 mil laut lepas pantai saat tiba di pelabuhan, Untuk meminimalkan risiko invasi biologi. Beberapa negara memerlukan pesisir BWE 50 mil lepas pantai di sepanjang rute domestik (Murphy et al., 2013). Kosong / re fi ll tangki ballast dan kemudian kembali isian dengan air di tengah laut. Secara lebih rinci, Peraturan D-1 dari 2004 BWMC mengharuskan memompa air laut ke dalam tangki pemberat harus mencapai volumetrik suatu fi ushing efisiensi dari 95% (Qi dan Eames 2015). Namun, praktik ini telah menunjukkan bahwa jenis celah geometri mengkonsumsi 40% lebih sedikit energi, dibandingkan dengan geometri silinder untuk tingkat yang sama dari disinfeksi air laut (Badve et al., 2015).

Penelitian telah menunjukkan bahwa ushing fi dalam tangki ballast multi-kompartemen umumnya efektif bila pengurangan 95% terpenuhi, setelah tiga volume pertukaran dalam semua kasus (Qi et al., 2014). Namun, praktek ini adalah solusi sementara diadopsi oleh beberapa negara saja.

### 2.2. metode pengolahan air pemberat

Sebuah penegakan global yang potensial dari BWMC akan memiliki dampak besar pada memerangi risiko spesies invasif air secara global, dengan mewajibkan operator kapal untuk memasang fasilitas pemberat pengolahan air (Hyytiäinen et al., 2013). air pemberat

standar pengobatan harus disetujui sesuai Peraturan D-2 dari BWMC dan harus memiliki jenis persetujuan serti fi kat, menurut Resolusi MEPC. 174 (58)), yang diperbarui Resolusi MEPC.125 (53) (IMO 2005). Metode fisik dari BWTS termasuk metode seperti filtrasi (Karanikola et al., 2011.; Cangelosi et al., 2007; Tang et al., 2006). ruang terbatas dan kekuasaan, keterbatasan waktu selama pelayaran singkat, dan kapal gerakan mencegah penggunaan beberapa proses fi sien paling umum dan ef di kapal, digunakan untuk mengobati air di darat, seperti tangki pengendapan dan lters gravitasi fi (Cohen dan Dobbs, 2015). The lters fi menyajikan dampak rendah, dalam hal dampak kesehatan manusia, dan sifat dari dampak tidak permanen (Carney et al., 2013.; Basurko dan Mesbahi, 2014). Namun, filtrasi, layar atau saringan digunakan sebagai media yang fi lter, yang jauh lebih sedikit yang efisien untuk menghilangkan mikroba (bakteri kebanyakan 61,5 lm diameter), dari proses filtrasi yang biasa digunakan untuk mengobati air minum di darat (Science Advisory Board, 2011). Metode fisik lain adalah penggunaan hydro-siklon, di mana-kecepatan tinggi rotasi sentrifugal air yang digunakan untuk memisahkan partikel / organisme (Badve et al., 2015). Hydro-siklon kurang efektif daripada lters fi, dalam hal mereka removal efisiensi (Badve et al., 2015). Keterbatasan filtrasi dapat digunakan dalam kombinasi dengan teknologi desinfeksi lainnya, karena mereka sangat efektif dalam menghilangkan organisme yang lebih besar.

Terlepas dari pemisahan padat-cair fisik, pilihan alternatif pengolahan air ballast adalah desinfeksi dengan pengobatan kimia. Berikut, simulasi perawatan air ballast dengan klorin dapat menghasilkan air steril (Akram et al., 20105). Metode lain adalah penambahan CO<sub>2</sub> elektro-klorinasi, yang dapat meningkatkan efisiensi dari perlakuan sterilisasi air ballast, namun, peningkatan produksi beberapa produk samping desinfeksi memerlukan penelitian lebih lanjut (Cha et al., 2015). Desinfeksi juga dapat dicapai dengan cara fisik. Beberapa BWTS menggunakan metode deoksigenasi air, sebagai menjanjikan pengobatan atas kapal teknologi untuk mengobati perairan pemberat kapal. Namun, waktu untuk mencapai deoxygenation may penuh tidak berlaku untuk aplikasi universal perawatan ini, yang harus disukai digunakan untuk kapal, yang membuat pelayaran lagi di lingkungan dingin (de Lafontaine dan Despatie 2014). Metode lain yang populer tercantum dalam kelompok ini adalah radiasi dari pengolahan air ballast dengan Ultraviolet (UV) lampu (Martinez et al., 2013). Penggunaan lampu UV lebih efektif daripada metode lain, seperti paparan air pemberat untuk konsentrasi tinggi ozon (Wennberg et al., 2013). Namun, biosimetry saat ini, fi utama metode pengaruh validasi untuk reaktor UV, yang menghadapi beberapa tantangan serius, seperti biaya tinggi dan kurangnya pemantauan yang akurat dari output lampu (Li et al., 2013). Perbaikan lain dari BWTS lampu UV adalah penambahan konsentrasi kecil dari H<sub>2</sub> H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, yang mengarah ke peningkatan dalam pengobatan UV. Namun, biaya operasional per 1000 m<sup>3</sup> dari air yang diolah diperkirakan untuk kapal-kapal yang di atas, dan untuk pengobatan yang berbeda-beda untuk kapal-kapal yang berbeda-beda. Pada tahun 2012, sekitar 68 BWTS yang berbeda yang tersedia 174

pengobatan (Moreno-Andrés et al., 2016).

menadjukkardbattwdsditeman gamdasogdaknlogefisidhApentiletronsikcaisidhD)stnagng(FAFAB), yangutitnembatu kerkkispakasihitguandju613% darsipessitidn yang selentitas (td %) telah digunakan dalam sistem pengolahan air laut (Zhu et al., 2013). Selanjutnya, Feng et al. (2015b) diperkenalkan pulsa cahaya yang kuat untuk mengobati air pemberat. Desinfeksi elektrokimia dengan elektroda berlian konduktif dipelajari dan ditemukan bahwa peningkatan salinitas dan kerapatan arus, umumnya memiliki efek resmi manfaat pada mengobati air pemberat simulasi (Lacasa et al., 2013). Sistem berdasarkan berbagai metode fisik dan / atau kimia, seperti oksidasi kimia atau radiasi UV, yang dikembangkan untuk instalasi onboard dan disetujui oleh IMO (Werschkun et al., 2014). Selanjutnya, Akram et al. (2015) menyarankan bahwa automated measurements dari Fluorescein hidrolisis diasetat, dengan sistem dapat digunakan kembali fi lter backwash, yang harus berlaku untuk, dekat real-time, remote monitoring dikendalikan dari organisme hidup dalam air pemberat. bahwa zat aktif dinetralkan terhadap organisme air tergantung pada faktor kualitas air, seperti salinitas, alkalinitas, dan senyawa organik dalam air (Lee et al., 2015). Hasil penelitian

### 2.3. Kritik pada sistem pengolahan air ballast

sistem, umumnya efektif terhadap kelompok plankton, zineksipn kombitis bakteritngboudspetelah beberapa fiadi (Mardedgartok, 2014). Ada juga argumen bahwa dampak buruk penyederhanaan nya, karena ada pertimbangan terbatas bahaya seperti konsumsi energi, polusi udara atau limbah (Werschkun et al., 2014). IMO telah menetapkan standar untuk persetujuan dari sistem manajemen air pemberat, mengenai toksisitas air dari zat aktif dan produk sampingan yang relevan digunakan. Namun, untuk sebagian besar sistem pengolahan air ballast menggunakan senyawa oksidatif, pembentukan kimia oleh-produk (CBPs) adalah masalah dan dapat menyebabkan efek buruk pada organisme air (Zhang et al., 2013). Ada juga kekhawatiran tentang beberapa desinfeksi (halogenasi) produk sampingan, termasuk dibromochloromethane, empat asam haloacetic, dan natrium bromate (Fisher et al., 2014). Penggunaan zat aktif sebagai desinfektan terhadap non-pribumi invasi spesies melalui debit air pemberat mungkin memiliki efek buruk pada organisme hidup di daerah debit, bahkan ketika zat aktif tersebut adalah terdistribusi dalam air pemberat (Gobben 2015). Dobbis 2015). Selain itu, zat aktif air pemberat di daerah debit dapat mempengaruhi biodiversitas dan perubahan dalam komunitas mikroba, terutama di daerah dingin (Stehouwer et al., 2013).

Ada kekhawatiran tentang efektivitas BWTS. Dalam 95% dari BWTS fi ed sertifikasi, kriteria debit bisa terpenuhi bahkan tanpa pengobatan, menunjukkan bahwa program serti fi kasi

dari mana, 75% dari sistem pengobatan berdasarkan inaktivasi UV atau menggunakan klorin sebagai zat aktif, yang ditemukan menyebabkan korosi dari tangki ballast, karena kemampuan oksidasi yang kuat (Feng et al., 2015a, 2015b). Dalam kasus UV inaktivasi, potensi korosi sedikit meningkat (Wang et al., 2013). Wang et al. (2013) juga menemukan bahwa metode pengolahan air ballast dengan desinfeksi terus menerus, bisa merusak struktur fi lm tangki bio asli.

Selain itu, ada kemungkinan bahwa risiko tertentu masih diremehkan dan penting untuk memantau laut dan pesisir ekosistem hati-hati, bahkan setelah penegakan BWMC (Culin dan Mustac' 2015). Misalnya, pelayaran pesisir tidak menjalani pertukaran air ballast dan melakukan langsung dengan sungai-to-sungai harus dipertimbangkan berisiko untuk pengenalan NIS, apakah air sumber mengandung spesies berpotensi invasif (Sutherland dan Levings 2013). Instalasi dari kapal atas kapal BTWS juga meningkatkan kekhawatiran tentang pelatihan, keamanan, pemeliharaan dan tantangan perbaikan oleh petugas kapal dengan pengetahuan yang terbatas pada daerah ini (Science Advisory Board, 2011).

#### 2.4. PSC & pengambilan sampel

Pihak berwenang diminta untuk memeriksa parameter yang berhubungan dengan air pemberat selama Port State Control (PSC) inspeksi (Liu et al., 2014). The BWMC memberdayakan oleh Resolusi MEPC.252 (67) PSC perwira untuk memeriksa kapal-kapal dalam bidang berikut:

- memverifikasi serti fi kasi
- memeriksa buku ballast record air
- sampel air pemberat sesuai dengan pedoman IMO

Pedoman G2 IMO dan peraturan D-1 dan D-2 dari BWMC menggambarkan tindakan pengambilan sampel untuk memverifikasi bahwa air pemberat telah diobati atau ditukar dengan air laut (IMO, 2004, 2008). Mendeteksi keberadaan spesies yang berpotensi invasif dalam air ballast adalah prioritas untuk mencegah penyebaran mereka ke lingkungan baru (Zaiko et al., 2015). The BWMC spesifik es air pemberat dibuang harus mengandung <10 layak (hidup) organisme P50 lm dalam dimensi minimum per m<sup>3</sup> dan nilai yang sama diadopsi oleh United States Coast Guard, yang membutuhkan volume relatif besar air yang akan dijadikan sampel untuk tujuan fi kasi veri (Drake et al., 2014). Statistik "keterwakilan" sampel adalah masalah yang terkait dengan heterogenitas distribusi organisme di dalam air ballast dan menunjukkan kepatuhan (Costa et al., 2015). Namun, sehubungan dengan D-2 Peraturan BWMC, banyak faktor yang mempengaruhi keakuratan memperoleh sampel yang representatif yang mewakili total air pemberat diatas kapal, seperti volume besar air ballast, bentuk, ukuran dan jumlah tangki ballast dan distribusi heterogen organisme dalam tangki, Carney et al. (2013). Data yang dikumpulkan dari inspeksi PSC harus diverifikasi dan disimpan untuk mendukung persyaratan legislatif, karena keterlibatan masyarakat harus didorong sebagai bagian dari program pemantauan di mana layak (Lehtiniemi et al., 2015).

#### 2.5. Pemilihan BWTS

Sebuah operator kapal harus percaya diri bahwa BWTS diinstal atas kapal akan bertemu dengan peraturan IMO. Sebuah sistem yang terinstal juga harus memenuhi kriteria penerimaan tambahan yang ditimbulkan oleh beberapa negara (USCG, 2012; Lloyds 2014). Namun, efisiensi dari sistem yang ada tunduk pada ketidakpastian dan tidak memadainya data (Pam et al., 2013). Dalam hal ini, Mamlook et al. (2008) melakukan bene fi ts-biaya analisis sistem air ballast yang berbeda untuk memilih teknologi yang paling sukses untuk pengolahan air ballast. Analisis ini melibatkan kriteria yang terkait dengan efektivitas, kehandalan, manfaat global, dan keamanan. Saat ini, mencukupi data dari uji coba yang disediakan oleh pembuat dan pengguna dari BWTS terbatas. Oleh karena itu, pemilihan dan pemasangan BWTS oleh operator kapal adalah tugas yang menantang. Penerapan teknologi baru dikenakan kesalahan dari awak kapal karena kurangnya pengalaman masa lalu. Drake et al. (2014) telah diringkas beberapa faktor penting yang penting untuk penggunaan BWTS. Faktor utama meliputi keamanan bagi kru, pencemaran laut dan biaya yang berkaitan dengan investasi dan pemeliharaan awal. Faktor-faktor lain dalam studi yang sama adalah kemudahan penggunaan oleh crewwhile operasi BWTS dan upaya pemeliharaan karena frekuensi dan kompleksitas sistem. Akhirnya, Drake et al. (2014) mengacu pada keahlian teknis yang diperlukan seperti jumlah pelatihan yang dibutuhkan sebelum digunakan. Durasi pelatihan harus mencukupi untuk menghindari periode trialerror. Sejauh ini, kriteria ini belum digunakan untuk mengembangkan alat pengambilan keputusan di mana banyak sistem akan dibandingkan untuk kepatuhan terhadap peraturan.

### 3. Metodologi

Themain aimof penelitian ini adalah untuk memastikan bahwa penyediaan informasi yang tersedia untuk BWTS digunakan untuk mengevaluasi biaya dan manfaat ts dari setiap sistem. Secara khusus, makalah ini mengusulkan hybridmethodology sebagai alat pengambilan keputusan, mampu mengukur ts fi bene dan biaya yang dihasilkan oleh masing-masing BWTS. operator kapal mungkin berlaku metodologi untuk mengevaluasi ts fi bene dan biaya yang akan dihasilkan untuk kapal oleh instalasi BWTS. Kemudian, keputusan-keputusan mungkin kuat.

Metodologi penelitian yang diusulkan didasarkan pada kriteria umum diterima, mampu mengevaluasi kinerja mesin baru. Tujuan utama adalah kepatuhan terhadap peraturan dengan beban yang wajar untuk operator kapal. Oleh karena itu, penekanan harus diberikan untuk menjawab pertanyaan tentang bagaimana manajemen risiko dapat diintegrasikan ke dalam ini sistem manajemen yang ada, memberikan kontribusi untuk keberhasilan ekonomi.

Metodologi yang diusulkan memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Identifikasi Kriteria untuk mengevaluasi BWTS.
2. Rank Kriteria karena adanya signifikansi dalam pengambilan keputusan.

### 3.1. Sebuah gambaran singkat dari AHP

Analytic Hierarchy Process (AHP) digunakan ketika berhadapan dengan masalah yang kompleks dan saling bertentangan kriteria dalam pengambilan keputusan. Ini adalah alat yang ampuh, yang fi penyederhanaan es masalah rumit dan sakit-terstruktur, dengan mengatur atribut keputusan dan alternatif, dalam struktur hirarki dengan bantuan dari serangkaian perbandingan berpasangan (Tavana dan Hatami-Marbini 2011). The AHP telah digunakan sebagai alat pengambilan keputusan, dalam banyak aplikasi karena kesederhanaan (Huo et al, 2011.; Zheng et al., 2012). Sebagai contoh, telah digunakan untuk berbagai macam aplikasi sebagai bagian dari berbagai metodologi dalam 190 makalah penelitian, yang diterbitkan antara 2004 dan 2016 (Kubler et al., 2016). Beberapa studi telah menunjukkan penerapan AHP di industri perkapalan (Sii dan Wang, 2003; Ugboma dan Ogwude 2004; Ung et al., 2006; Kandakoglu et al, 2009.; Karahalios et al., 2011). Dalam AHP, penilaian ahli yang digunakan untuk mengukur bobot relatif dari kriteria tertentu (Yang et al., 2011). Ghosh (2011) menyarankan AHP untuk menghitung bobot dari atribut atau kriteria, serta bobot keseluruhan di masing-masing atribut.

The AHP, yang didirikan oleh Saaty (1977), Adalah teori pengukuran melalui perbandingan berpasangan dan bergantung pada menghakimi- yang ment ahli untuk mendapatkan skala prioritas. Konsep AHP adalah untuk merancang sebuah pohon hirarki termasuk tingkat tujuan, kriteria, sub-kriteria dan alternatif. Dengan pendekatan ini, setiap elemen dalam hirarki dapat dibandingkan dengan unsur-unsur lain untuk relatif signifikansi nya (Tavana dan Hatami-Marbini 2011). Hal ini dicapai dengan membusuk pengambilan keputusan dalam hirarki lebih mudah dipahami sub-masalah, yang masing-masing dapat dianalisis secara independen (Asgari et al., 2015). perhitungan AHP tidak rumit, dan jika penilaian yang dibuat, tentang kepentingan relatif dari atribut yang telah dibuat dengan itikad baik, maka, perhitungan AHP menyebabkan tak terelakkan ke konsekuensi logis dari keputusan mereka. Awalnya, perbandingan matriks berpasangan kriteria (A) didirikan dengan menggunakan skala kepentingan relatif, seperti yang diperkenalkan oleh Saaty (1980). skala 1-9 ini mengukur berwujud secara relatif dan disajikan dalam Tabel 1. Perbandingan berpasangan memungkinkan pembuat keputusan untuk mengevaluasi dampak dari masing-masing faktor pada tujuan (Veisi et al., 2016). Dalam matriks timbal balik yang sewenang-wenang acak SEBUAH masing-masing kriteria Sebuah  $a_{ij}$  ( $i, j = 1, 2, 3, \dots, n$ ) adalah kepentingan relatif dari  $i$  elemen dibandingkan dengan  $j$  elemen. Yaitu, itu mengungkapkan nilai-nilai yang lebih tinggi dari Sebuah  $a_{ij}$  menunjukkan preferensi kuat dari kriteria Sebuah  $i$  lebih Sebuah  $j$ . Dalam matriks, Sebuah  $i = 1$  ketika  $i = j$  dan Sebuah  $j = 1 /$

Sebuah  $a_{ij}$  (Akyuz et al., 2015).

266.664	377.775
1 Sebuah $i$	Sebuah $i$
Sebuah $21$	Sebuah $2n$
SEBUAH $\frac{1}{4}$	
Sebuah $n+1$ Sebuah $n+2$	1

61 p

Konsistensi untuk perbandingan berpasangan di AHP dihitung dengan rasio konsistensi (CR), yang mengukur probabilitas bahwa matriks perbandingan berpasangan itu fi diisi di, murni secara acak (Veisi et al., 2016). Itu CI adalah indeks konsistensi yang dapat diperoleh dari Persamaan. (2), di mana RI adalah indeks acak untuk matriks SEBUAH dan ditampilkan di tabel 2 (Saaty, 1994).

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

62 p

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

63 p

### 3.2. Sekilas AHP-TOPSIS

AHP adalah alat yang berguna untuk memecahkan masalah yang kompleks, namun, dalam beberapa kasus, perlu untuk dikombinasikan dengan metode Beberapa Kriteria Pengambilan Keputusan lainnya (MCDM). TOPSIS adalah metode menguntungkan MCDM (Kaliszewski dan Podkopaev 2016). Alasan untuk memilih TOPSIS dapat diringkas sebagai berikut (Yildirim et al., 2016):

Tabel 1  
Skala perbandingan AHP.

Intensitas berat badan	Definisi
1	sama pentingnya
3	moderat pentingnya
5	kuat pentingnya
7	Pentingnya sangat kuat
9	Absolut (ekstrim) Pentingnya
2, 4, 6, 8	nilai menengah

tabel 2  
Indeks nilai acak.

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

(1) logika suara yang mewakili pemikiran dari pilihan manusia; (2) visualisasi unik dari alternatif pada polyhedron; (3) nilai skalar yang menyumbang terbaik dan terburuk alternatif pilihan secara bersamaan; dan (4) proses perhitungan sederhana yang dapat dengan mudah diprogram ke dalam spreadsheet

Meskipun popularitas TOPSIS dan kesederhanaan dalam konsep, sering dikritik karena ketidakmampuannya menangani memadai ketidakpastian dan ketidaktepatan yang melekat dalam proses pemetaan persepsi pengambil keputusan (Krohling dan Campanharo 2011). Untuk mengatasi masalah ini, AHP dikombinasikan dengan TOPSIS. AHP-TOPSIS adalah metodologi yang memungkinkan mengurangi ketidakpastian dan hilangnya informasi dalam pengambilan keputusan kelompok dan dengan demikian, memastikan solusi kuat untuk firm (Efe 2016). Dalam literatur, ada beberapa contoh menggabungkan TOPSIS dengan AHP untuk meningkatkan konsistensi bobot subjektif (Yang et al, 2011.; Campanella dan Ribeiro, 2011). Pendekatan hybrid ini mengambil keuntungan dari dua metode yang berbeda untuk mengatasi ketidakpastian yang terkait dengan masalah yang diteliti (Ying dan Yan-ping, 2007; Sadi-Nezhad dan Damghani; 2010; Tsaor et al., 2002; Ghosh, 2011).

Prinsip dasar dari metode TOPSIS didasarkan pada konsep bahwa alternatif selektif harus memiliki jarak terdekat dengan Ideal Solusi Positif dan jarak terjauh dengan Solusi Ideal negatif (Momeni et al., 2011). Dalam rangka untuk membandingkan alternatif dan meng-upgrade peringkat final, jarak Euclidean antara masing-masing alternatif dan kedua ideal dan solusi yang negatif-ideal dihitung pertama; maka kedekatan koefisien dihitung untuk mengukur dua jarak masing-masing (Taylan et al., 2015). Proses TOPSIS dapat digambarkan sebagai berikut (Oelcer dan Majumder, 2006; Ic dan Yurdakul, 2010; Yang et al., 2011):

Langkah 1. Menetapkan format matrix pengambilan keputusan untuk model problemwith yang presentasi dari semua alternatif dan kriteria. Format matriks D dapat ringkas dinyatakan sebagai:

$$D = \begin{matrix} & \begin{matrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{m1} & X_{m2} & \dots & X_{mn} \end{matrix} \\ \begin{matrix} D_{11} \\ D_{12} \\ \dots \\ D_{m1} \\ D_{m2} \end{matrix} & \begin{matrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{m1} & X_{m2} & \dots & X_{mn} \end{matrix} \end{matrix}$$

$$W = \begin{matrix} W_1 & W_2 & \dots & W_n \end{matrix}$$

dimana bobot kriteria  $w_j, j = 1, 2, \dots$  sejumlah kriteria dan  $x_{ij}$  menunjukkan jumlah BWTS  $i = 1, 2, \dots$ ; jumlah BWTS ( $n$ ),  $j = 1, 2, \dots$ , Sejumlah kriteria.

Langkah 2. Pentingnya kriteria (bobot) langsung dievaluasi dengan perbandingan berpasangan menggunakan skala AHP (tabel 3) Dari pengambil keputusan.

Langkah 3. Teknik vektor normalisasi digunakan untuk menghitung elemen ( $r_{aku,j}$ ) dari matriks keputusan dinormalisasi, yang diberikan sebagai:

$$r_{aku,j} = \frac{x_{aku,j}}{\sum_{aku=1}^M x_{aku,j}}$$

0 4 p

Langkah 4: Matriks keputusan dinormalisasi tertimbang dapat dihitung dengan mengalikan setiap baris  $r_{aku,j}$  dari matriks keputusan dinormalisasi dengan berat atribut yang terkait  $w_j$ . Nilai dinormalisasi tertimbang  $v_{aku,j}$  dihitung sebagai berikut:

$$v_{aku,j} = r_{aku,j} \cdot w_j$$

0 5 p

dimana  $j = 1, 2, \dots, N$ ;  $i = 1, 2, \dots, M$ .

tabel 3  
Skala untuk penilaian pentingnya kriteria.

Skala	Evaluasi
1	Sangat miskin
3	Miskin
5	rata-rata
7	Baik
9	unggul
2, 4, 6, 8	nilai menengah

Langkah 5: Solusi ideal (SEBUAH  $p$ ) terbuat dari semua skor kinerja terbaik dan solusi negatif-ideal (SEBUAH  $n$ ) terbuat dari semua skor kinerja terburuk di langkah-langkah dalam tertimbang matriks keputusan dinormalisasi mana  $i = 1, 2, \dots, N$ . Ekspresi matematika adalah sebagai berikut:

$$\text{SEBUAH } p \text{ f } V_{p1}, \dots, V_{p2}, \dots, V_{p3}, \dots, V_{pn} g$$

66 p

dimana

$$V_{p1} \text{ f } FD \text{ max} \\ \text{saye f } V_{p1} \text{ g} \text{ saye } 2 \text{ J } p \text{ saye } 1; \dots m \text{ g}$$

67 p

$$\text{SEBUAH } n \text{ f } V_{n1}, \dots, V_{n2}, \dots, V_{n3}, \dots, V_{nn} g$$

68 p

dimana

$$V_{n1} \text{ f } FD \text{ min} \\ \text{saye f } V_{n1} \text{ g} \text{ saye } 2 \text{ J } p \text{ saye } 1; \dots m \text{ g}$$

69 p

Langkah 6: The  $n$  dimensi Euclidean jarak canmeasure jarak dari  $j$  alternatif solusi ideal. Pemisahan setiap alternatif dari solusi ideal positif  $\delta S_p$  saye  $p$  kemudian diberikan oleh

$$\delta S_p = \sqrt{\sum_{j=1}^n (X_{pj} - V_{pj})^2}$$

610 p

$j = 1, 2, \dots, M$  dan  $i = 1, 2, \dots, n$ .

Demikian pula, pemisahan dari solusi ideal negatif  $\delta S_{saye}$  kemudian diberikan oleh

$$\delta S_{saye} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (X_{pj} - V_{nj})^2}$$

611 p

Langkah 7: The peringkat skor  $\delta T_p$  saye  $p$  dihitung sebagai

$$T_p = \frac{\delta S_p}{\delta S_j + \delta S_p}$$

612 p

Kapan  $T_p$  saye adalah mendekati 1, alternatif ini dianggap sebagai ideal; dan kapan  $T_p$  saye dekat dengan 0, alternatif ini dianggap sebagai non-ideal.

pengambilan keputusan-178  
4. Model Usulan

Untuk mencapai kepatuhan terhadap peraturan dengan BWMC, operator kapal harus menilai semua risiko fi ed identifikasi untuk kapal-kapal, personil dan lingkungan dan membangun perlindungan yang sesuai (Karahalios 2014). Sehubungan dengan BWTS, solusi yang paling ramah lingkungan harus mahal efektif juga. Namun, keputusan awal dapat menghasilkan masalah berat dengan operasi dan pemeliharaan dari BWTS dipilih, yang cenderung menyebabkan pelanggaran BWMC. Untuk menghadapi risiko ballast pelanggaran banyak metodologi penilaian risiko telah dikembangkan yang mengadopsi kuantitatif (probabilistik) pendekatan yang biasanya tidak memadai dalam menangani masalah yang melibatkan air pemberat dibuang dan spesies invasif (Pam et al., 2013). Oleh karena itu, tujuan dari metodologi disajikan dalam makalah ini adalah untuk menjadi disederhanakan, dengan fokus pada perspektif kapal operator mengenai kepatuhan terhadap peraturan. Untuk ful fi l tujuan ini, AHP-TOPSIS telah dipilih dalam penelitian ini karena kekuatan berikut:

TOPSIS dapat peringkat lokasi alternatif yang didasarkan pada kinerja mereka secara keseluruhan, karena dapat mengidentifikasi solusi terbaik yang paling dekat dengan solusi ideal positif dan terjauh dari solusi ideal negatif (Choudhary dan Shankar 2012). Dengan demikian, solusi yang optimal diperoleh dari biaya rendah dan kekhawatiran peraturan tentang pemilihan BWTS Sifat matematika dan komputasi dari model yang sederhana. Studi kasus diilustrasikan dalam makalah ini menunjukkan bahwa hal itu dapat diterapkan menggunakan spreadsheet.

Kebutuhan informasi dari kerangka yang diusulkan adalah strati fi ed menjadi sebuah hirarki untuk menyederhanakan masukan informasi dan memungkinkan operator kapal untuk fokus pada area kecil dari masalah besar. Inkonsistensi para ahli dapat diukur dengan CR nilai-nilai.

Selain itu, penilaian ahli digunakan dalam metodologi ini untuk mengevaluasi BWTS efisiensi. Sebuah perjanjian yang kuat di antara para ahli, yang diukur dengan AHP dengan CR nilai-nilai, akan mengurangi ketidakpastian dari model yang diusulkan (Goerlandt dan Reniersn, 2016). Jika CR nilai di atas 0,2 maka seperti yang disarankan oleh Saaty orang (s) membuat penilaian harus mencari informasi tambahan, memeriksa ulang data yang digunakan dalam membangun skala, dan kemudian membuat penilaian baru (Wedley, 1993; Karahalios 2014). Sebaliknya ketika CR nilai kurang dari 0,2 yang merupakan indikasi dari kesepakatan di antara para ahli (Lee, 2006). Penghakiman dengan konsistensi tinggi memastikan sudut pandang yang berbeda sebagai keputusan kelompok fi nal di konsensus (Celik et al., 2009). Akibatnya, pemanfaatan ahli diusulkan dalam metodologi ini, untuk memenuhi tujuan sebagai berikut:

Pernyataan masalah

Identifikasi kriteria untuk mengevaluasi BWTS Mengevaluasi berat kriteria dalam

#### 4.1. Pernyataan masalah

Sebuah operator kapal bijaksana yang beroperasi armada fi di wilayah geografis tertentu dalam posisi menantang sehubungan dengan kepatuhan lingkungan. Sehubungan dengan BWMC, tindakan proaktif akan memilih dan menginstal BWTS atas kapal beberapa kapal nya. Ketika peraturan ini mulai berlaku, maka mereka akan memiliki keuntungan komersial atas pesaing mereka.

#### 4.2. Identifikasi kriteria untuk mengevaluasi BWTS

Mengenai literatur, beberapa kriteria yang signifikan untuk memilih BWTS bisa bervariasi dalam hal instalasi, operasi, masalah keamanan. Namun, beberapa data ini tidak tersedia atau tumpang tindih. Misalnya, penggunaan bahan kimia dalam BWTS bisa pemeliharaan, biaya dan masalah faktor keamanan pada waktu yang sama. Selain itu, biaya pemeliharaan dapat meningkatkan dalam jangka panjang jika produsen berjalan keluar dari bisnis. Untuk tujuan ini, sepuluh ahli dari industri maritim setuju untuk berpartisipasi dalam penelitian ini untuk mengidentifikasi kriteria yang paling penting untuk mengevaluasi BWTS. Para ahli memberikan kontribusi dengan mengevaluasi bobot masing-masing kriteria dengan AHP. Selain itu, mereka mengevaluasi kriteria TOPSIS rating untuk setiap alternatif.

Para ahli dengan pengalaman yang luas di daerah diselidiki, dengan latar belakang akademis dan industri sesuai, bekerja di perusahaan pelayaran, baik secara langsung, atau dengan mengevaluasi kinerja mereka sebagai karyawan kontrol negara pelabuhan atau klasifikasi masyarakat fi kasi. Karahalios (2014) menyarankan bahwa kriteria untuk mengevaluasi keahlian individu dalam maritim peraturan medan profesional serti fi kasi ( PCert), akademik serti fi kasi ( ACert), tahun pengalaman tidak dalam posisi manajerial ( Syears) dan tahun di posisi manajerial ( Telingaku). Kriteria ini diadopsi dalam kertas dan menyebutkan statusnya fi ini kation ahli yang berpartisipasi dalam makalah ini ditunjukkan pada tabel 4. Penghakiman ahli mengungkapkan tujuh kriteria untuk memilih BWTS, yang ditunjukkan pada tabel 5. Yang pertama satu adalah Man-

Panjang Umur pabrikan, yang mengacu pada kemungkinan produsen untuk bertahan di pasar dalam jangka panjang. Kriteria ini dapat dievaluasi dengan jumlah penjualan, yang telah ditempatkan. Kriteria kedua adalah Power, diukur dalam KW, diperlukan untuk pengoperasian sistem. Ini mungkin menjadi perhatian khusus ketika sistem diperlukan untuk beroperasi di daerah di mana emisi kapal udara dikendalikan dan nilai bahan bakar lebih mahal dikonsumsi. Sehubungan dengan karakteristik kinerja, para ahli sepakat pada dua kriteria; Pengobatan Waktu dan Sistem Kapasitas. Keduanya menunjukkan kecepatan sistem, yang sangat penting untuk operasi kapal cepat dan pelayaran pendek. Jika tidak, penundaan pada operasi ballast akan mempengaruhi operasi kargo juga. Instalasi sistem baru mungkin menjadi masalah yang parah, terutama di kapal tua, di mana ruang belum diramalkan pada tahap desain kapal. Dimensi instalasi, menurut para ahli, dapat diukur dalam Jejak (m<sup>2</sup>) dan Tinggi, yang dua kriteria masing-masing. Akhirnya, penggunaan bahan kimia dapat menyebabkan tantangan tambahan, seperti pelatihan awak, biaya pemeliharaan dan risiko keselamatan. Namun, dalam fokus makalah ini diberikan kepada keselamatan awak dengan menggunakan bahan kimia. Oleh karena itu, ditambahkan sebagai kriteria terakhir.

#### 4.3. Mengevaluasi berat kriteria dalam pengambilan keputusan

Pada tahap berikutnya, para ahli menggunakan kriteria berpasangan untuk mengidentifikasi BWTS, untuk menunjukkan preferensi mereka untuk setiap kriteria. Dengan penerapan AHP, seperti yang dijelaskan pada Langkah 2, berat dihitung dan hasilnya ditampilkan dalam tabel 6. Itu CR nilai dihitung menjadi 0.130 yang menunjukkan konsensus di antara para ahli. Di atas adalah kriteria Produsen Panjang Umur dengan bobot yang sama untuk 0.446, diikuti oleh Power (KW), yang dibutuhkan oleh sistem dengan nilai 0,218. Tampaknya para ahli khawatir tentang sistem baru untuk biaya tambahan dan jadwal pemeliharaan dalam kasus produsen sistem yang terinstal tidak tersedia di masa depan. Kriteria berikutnya peringkat adalah Waktu Pengobatan dan Kapasitas Sistem dengan bobot yang sama untuk 0,127 dan 0,079, masing-masing. The operasi kapal cepat tidak harus ditunda dengan memasang sistem baru, karena hal ini dapat menyebabkan pintas dalam sistem pengobatan. Dengan memperhatikan karakteristik instalasi, kriteria untuk tapak dan tinggi nilai-nilai bobot yang 0,053 dan 0,026 masing-masing. Tampaknya para ahli menunjukkan perhatian lebih untuk dimensi horizontal dari suatu sistem, karena dalam ruang mesin ini menimbulkan signifikan kesulitan untuk, karena posisi mesin lainnya. Akhirnya, penggunaan bahan kimia dari perspektif keamanan hampir sama signifikan sebagai kriteria jejak, dengan banyak nilai bobot dekat.

tabel 4

fi kasi menyebutkan statusnya ahli.

	ACert	PCert	Telingaku	Syears
ahli 1	BSc	Kapal surveyor / auditor	15	3
ahli 2	MSc	Kapal surveyor / auditor	14	4
ahli 3	HND	Kapten	12	8
ahli 4	MSc	Kapal surveyor / auditor	14	2
ahli 5	BSc	Kapal surveyor / auditor	13	3
ahli 6	HND	Kapal surveyor / auditor	13	5
ahli 7	MSc	Kapten	12	8
ahli 8	PhD	Kapten	11	9
ahli 9	BSc	Kapal surveyor / auditor	12	1
ahli 10	BSc	Kapal surveyor / auditor	11	1



tabel 5  
Kriteria identifikasi oleh para ahli.

kriteria ahli	Mengukur
C1 Produsen umur panjang	Biaya perawatan
C2 Daya (kW)	kepatuhan lingkungan
C3 waktu perawatan	Kemudahan penggunaan
C4 kapasitas sistem	Karakteristik kinerja
C5 dimensi instalasi (m <sup>2</sup> tapak	Karakteristik kinerja
C6 tinggi dimensi instalasi	Karakteristik kinerja
C7 Penggunaan bahan kimia	faktor keamanan awak

tabel 6  
Bobot kriteria ahli.

kriterium	Berat
produsen umur panjang	0,446
kW	0,218
waktu perawatan	0,127
kapasitas sistem	0,079
dimensi instalasi (m <sup>2</sup> tapak	0,053
Keselamatan / penggunaan bahan kimia	0,051
tinggi dimensi instalasi	0,026

tabel 7  
BWTS diserahkan kepada USCG untuk persetujuan.

BWTS	unit yang terjual	Kebutuhan daya (kW)	waktu perawatan	Jejak (m <sup>2</sup> )	tinggi Max (m)	Apa tingkat dosis dari neutraliser yang (ml / m <sup>3</sup> )	Kapasitas Minimum (1000m <sup>3</sup> / h)
SEBUAH	108	17	2 jam	500 m <sup>2</sup> / h	500 m <sup>3</sup> / h	10	0,05
B	> 400	40	Segera	4	3	N / A	0,06
C	350	105	Segera	0	0	N / A	0,05
D	48	36	24 h	0	0	5 sampai 7	0,75
E	810	19	6 jam	11,5	2,3	3,7	0,15
F	114	32	6 jam	2,4	3	N / A	0,10

#### Studi 5. Kasus

Untuk menunjukkan penerapan metodologi yang diusulkan, studi kasus dilakukan dalam makalah ini. Data diperiksa, yang disediakan oleh situs Lloyds Register (Lloyds 2014). Untuk mengurangi waktu dan upaya, studi kasus ini berfokus pada persyaratan USA. Di Amerika Serikat, beberapa tindakan legislatif dan eksekutif yang mengatur pembuangan air pemberat yang diumumkan antara tahun 1990 dan 2013 (USCG, 2012; EPA, 2013). Kedua IMO dan tindakan Amerika Serikat, bertujuan untuk membatasi jumlah organisme hidup dibuang di air pemberat. Di Bagian Amerika Serikat, 15 CFR 754,2, undang-undang untuk kebutuhan ballast untuk kapal dijelaskan. Namun, ada kekhawatiran di Coastguard AS (USCG) dan Lingkungan Agen pelindung (EPA) mengenai efektivitas BWTS. Hal ini telah menyebabkan fi kan keterlambatan signifikan dalam persetujuan sistem, oleh Amerika Serikat.

Untuk studi ini, enam sistem telah terpilih yang sudah dalam proses pemeriksaan untuk persetujuan oleh USCG dan muncul di Lloyds basis data register (Lloyds 2014). Untuk menghindari masalah kompetisi, spesifikasi-spesifikasi dari masing-masing sistem disajikan dalam tabel 7. Namun, nama-nama produsen tidak disajikan dalam makalah ini. Mengikuti metodologi AHPTOPSIS, matriks keputusan yang dijelaskan pada Langkah 1, dibuat dan disajikan dalam tabel 8. Pada tabel ini, para ahli dievaluasi enam BWTS untuk setiap kriteria, pada skala dari 1 sampai 10, di mana 1 adalah rating terburuk dan 10 yang terbaik, masing-masing. Sebagaimana dijelaskan dalam Bagian 4.3, Berat kriteria telah dihitung full persyaratan Langkah 3. Dengan menerapkan Persamaan.

(3) seperti yang ditunjukkan pada Langkah 4, matriks keputusan dinormalisasi dan ditampilkan di tabel 9. Kemudian, tabel 10 menunjukkan matriks normalisasi tertimbang, dihitung dengan menggunakan Persamaan. (4). Setelah Langkah 5, ideal & negatif solusi yang ideal ditentukan, sebagai

tabel 8  
matriks keputusan.

BWTS	unit yang terjual	Kekuasaan persyaratan (kW)	waktu perawatan	Jejak (m <sup>2</sup> )	tinggi Max (m)	Apa tingkat dosis dari neutraliser yang (ml / m <sup>3</sup> )	Kapasitas Minimum (1000 m <sup>3</sup> / h)
SEBUAH	1,33	8,66	9,00	6,52	1,00	1,00	1,00
B	4,94	5,06	10,00	10,00	10,00	10,00	1,00
C	4,32	5,67	10,00	10,00	10,00	10,00	1,00
D	0,59	9,40	1,00	1,00	1,77	4,00	10,00
E	10,00	1,00	7,50	7,91	1,00	7,00	8,00
F	1,40	8,59	10,00	8,08	1,90	10	3,00

tabel 9

matriks keputusan dinormalisasi.

BWTS	unit yang terjual	Kekuasaan persyaratan (kW)	waktu perawatan	Jejak (m <sup>2</sup> )	tinggi Max (m)	Apa tingkat dosis dari neutraliser yang (ml / m <sup>3</sup> )	Kapasitas Minimum (1000 m <sup>3</sup> / h)
SEBUAH	0.109909	0.503472	0.429914	0.338342	0.069214	0.052271	0.075378
B	0.40707	0.29405	0.477682	0.518791	0.69214	0.522708	0.075378
C	0.356187	0.32991	0.477682	0.518791	0.69214	0.522708	0.075378
D	0.048848	0.546503	0.047768	0.051879	0.122509	0.209083	0.753778
E	0.824317	0.058093	0.358262	0.410522	0.069214	0.365896	0.603023
F	0.116015	0.499168	0.477682	0.419544	0.131507	0.522708	0.226134

tabel 10

Matriks dinormalisasi tertimbang.

BWTS	unit yang terjual	Kekuasaan persyaratan (kW)	waktu perawatan	Jejak (m <sup>2</sup> )	tinggi Max (m)	Apa tingkat dosis dari neutraliser yang (ml / m <sup>3</sup> )	Kapasitas Minimum (1000 m <sup>3</sup> / h)
SEBUAH	0.049087	0.110084	0.054863	0.017571	0.001697	0.002699	0.005958
B	0.181802	0.064294	0.060959	0.026942	0.016967	0.026993	0.005958
C	0.159077	0.072135	0.060959	0.026942	0.016967	0.026993	0.005958
D	0.021816	0.119493	0.006096	0.002694	0.003003	0.010797	0.059578
E	0.368149	0.012702	0.045719	0.021319	0.001697	0.018895	0.047663
F	0.051814	0.109143	0.060959	0.021788	0.003224	0.026993	0.017874

tabel 11

Tentukan ideal &amp; negatif solusi yang ideal positif.

SEBUAH-	0.021816	0.012702	0.006096	0.002694	0.001697	0.002699	0.005958
A +	0.368149	0.119493	0.060959	0.026942	0.016967	0.026993	0.059578

tabel 12

Jarak dari PIS-NIS.

BWTS	S +	S
SEBUAH	0.325135	0.113254
B	0.201612	0.180772
C	0.220973	0.163689
D	0.352139	0.119778
E	0.11004	0.351945
F	0.319578	0.119623

tabel 13

Peringkat dari BWTS.

BWTS	Berat	Peringkat
SEBUAH	0,258	5
B	0,472	2
C	0,425	3
D	0,253	6
E	0,761	1
F	0,272	4

ditunjukkan pada **tabel 11** . Kemudian, dengan pers. (11) dan (12) , Jarak dari PIS dan NIS dihitung masing-masing, sebagai hasil mereka ditunjukkan dalam **tabel 12** . Akhirnya, peringkat tersebut telah dihitung dan skor masing-masing sistem ditunjukkan pada **tabel 13** . Di **tabel 13** yang ditunjukkan hasil Persamaan. (13) dari Langkah 7. Sistem E memperoleh skor terbaik dengan 0.761, dan yang terburuk D dengan 0.235. Empat sistem lain memiliki nilai berkisar dari 0,272 dan 0,472. Faktor-faktor deterministik untuk skor ini Unit Terjual dan persyaratan Power. Misalnya, sistem E dengan skor terbaik memiliki paling unit yang terjual dan kebutuhan daya yang lebih rendah. The signifikansi dari kriteria Daya muncul ketika sistem A dan F dengan unit serupa yang dijual. Persyaratan Power untuk F lebih dari dua kali lipat dari yang dari A, memberikan skor yang lebih baik akhirnya mendukung F. Sebuah perbandingan serupa yang dibuat antara systemB dan C, di mana systemB mencapai peringkat yang lebih tinggi karena jumlah yang lebih tinggi dari unit yang terjual.

## 6. Kesimpulan & diskusi

Kontribusi metodologi yang diusulkan adalah bahwa hal itu bisa menjadi alat untuk membandingkan biaya dan manfaat antara BWTS yang ada. Seperti yang ditunjukkan dalam Bagian 5 , jelas bahwa kriteria terkait dengan biaya seperti pemeliharaan dan kekuasaan

Konsumsi menang dalam pengambilan keputusan dari operator kapal untuk memilih BWMTS. Dalam periode resesi, biaya-biaya tambahan yang dihasilkan oleh penegak BWMTS mungkin akan beban signifikan bagi operator kapal, terutama mereka dengan kapal-kapal tua, di mana biaya pemeliharaan relatif tinggi. Aspek lain yang signifikan bahwa metodologi yang berhadapan dengan adalah kesalahan manusia potensial dari penggunaan yang tidak pantas dari BWMTS. perangkat rumit mungkin perlu upaya signifikan dan waktu dari awak sampai beberapa derajat kompetensi dicapai.

Metode yang digunakan dalam makalah ini tampaknya mampu menangani pengambilan keputusan memilih BWMTS ketika data yang terbatas yang tersedia. Ahli penghakiman disediakan suf fi Data sien untuk penelitian ini. Penerapan AHP-TOPSIS dengan bantuan ahli diproduksi metodologi pengambilan keputusan, berlaku untuk operator kapal. Namun, metodologi harus diuji dengan aplikasi yang lebih. The penilaian ahli bisa diganti jika mencukupi data dari uji coba yang disediakan oleh pembuat dan pengguna dari BWMTS. Oleh karena itu, penelitian masa depan diperlukan untuk memvalidasi ulang temuan dari model yang diusulkan.

Akhimya, tulisan ini memberikan kontribusi terhadap literatur yang sudah ada, dengan alasan bahwa industri maritim tidak siap untuk pindah ke penegakan BWMTS. Meskipun konvensi berisi peraturan dengan tujuan berharga dan ruang lingkup untuk perlindungan lingkungan laut, solusi belum padat diterima oleh otoritas seperti dalam kasus dari Amerika Serikat. tindakan sepihak dapat mempersulit masalah dan menyebabkan lebih banyak tantangan kepada otoritas IMO. Dalam hal ini, kepatuhan terhadap peraturan oleh operator kapal mungkin menantang. Pemilihan BWMTS oleh operator kapal adalah risiko komersial sejak persyaratan PSC dapat bervariasi dan beberapa BWMTS tidak diterima oleh beberapa negara. Akibatnya, kegagalan kapal untuk memenuhi persyaratan IMO dapat menimbulkan hukuman berat, sebagai akibat dari pencemaran dan kerusakan sumber daya alam dalam yurisdiksi PSC.

## Referensi

- Akram, AC, Noman, S., Moniri-Javid, R., Gizicki, JP, Reed, EA, Singh, SB, Basub, AS, Banno, F., Fujimoto, M., Ram, JL, 2015. Pengembangan sebuah otomatis pemberat pengolahan air veri fi kasi sistem memanfaatkan fi uorescein hidrolisis diasetat sebagai ukuran pengobatan efficacy. *Air Res.* 70, 404- 413 .
- Akyuz, E., Karahalios, H., Celik, M., 2015. Penilaian terhadap kepatuhan konvensi buruh maritim menggunakan balanced scorecard dan proses hirarki analisis pendekatan. *Marit. Pol. Mengelola.* 42 (2), 145-162 .
- Asgari, N., Hassani, A., Jones, D., Nguye, HH 2015. peringkat Keberlanjutan dari pelabuhan utama UK: metodologi dan studi kasus. *Transportasi Res. Bagian E, Logistik. Mengangkut. Wahyu* 78, 19-39 .
- Badve, MP, Bhagat, MN, Pandit, AB, 2015. Mikroba desinfeksi air laut dengan menggunakan kavitasi hidrodinamik. *September Purif. Technol.* 151, 31-38 .
- Basurko, OC, Mesbahi, E., 2011. keterwakilan statistik sampling air pemberat. Dalam: Prosiding Institution of Mechanical Engineer, Bagian M, J. dari Eng. untuk Maret Env., hlm. 183-190 .
- manajemen kapal Ballast Air dan Sedimen, 182 .
- Bennett, M., Foster, D., Van Duinenhoof, K., O'Beirn, F., Buck, BH, Mazuric, J., Thorarinsdottir, G., Dolmerh, P., Sanchez-Matai, A., Strandj, O., Flimlink, G., Miosseci, L., Kamermans, P., 2014. Bivalve transfer budidaya di Atlantic Eropa. Bagian B: dampak lingkungan dari kegiatan transfer. *Samudera Coast. Manag.* 89, 139-146 .
- Campanella, G., Ribeiro, RA, 2011. Sebuah kerangka kerja untuk beberapa kriteria pengambilan keputusan yang dinamis. *Decis. Dukungan Syst.* 52 (1), 52-60 .
- Cangelosi, AA, Mays, NL, Balcer, MD, Reavie, ED, Reid, DM, Sturtevant, R., Gao, X. 2007. Respon dari zooplankton dan fitoplankton dari Utara Amerika Great Lakes untuk filtrasi. *Membahayakan. Algae* 6, 547-566 .
- Carney, KJ, Basurko, OC, Pazouki, K., Marsham, S., Delany, JE, Desai, DV, seperti dilakukan orang tua, AC, Mesbahi, E., 2013. Dif-kesulitan dalam memperoleh sampel yang representatif untuk kepatuhan dengan Konvensi Pengelolaan Air Ballast. *Maret Pollut. Banteng.* 68 (1), 99-105 .
- Celik, M., Deha, EI, Ozok, AF, 2009. Penerapan Fuzzy metodologi AHP diperpanjang pada seleksi registry pengiriman: kasus industri maritim Turki. *Ahli Syst. Appl.* 36 (1), 190-198 .
- Cha, HG, Seo, MH, Lee, HY, Lee, JH, Lee, DS, Shin, K., Choi, KH 2015. Meningkatkan tersebut efficacy klorinasi elektrolit untuk pengolahan air ballast oleh menambahkan karbon dioksida. *Maret Pollut. Banteng.* 95 (1), 315-323 .
- Choudhary, D., Shankar, R., 2012. Sebuah kerangka kerja AHP-TOPSIS CURAM-fuzzy untuk evaluasi dan pemilihan lokasi pembangkit listrik termal: studi kasus dari India. *Energi* 42 (1), 510-521 .
- Cohen, AN, Dobbs, FC 2015. Kegagalan program pengujian kesehatan masyarakat untuk sistem pengolahan air pemberat. *Maret Pollut. Banteng.* 91 (1), 29-34 .
- Costa, EG, Lopes, RM, Singer, JM, 2015. Implikasi dari distribusi heterogen organisme sampling air pemberat. *Maret Pollut. Banteng.* 91 (1), 280-287 .
- Culin, J., Mustac, B., 2015. Risiko lingkungan yang terkait dengan sistem pengelolaan air ballast yang menciptakan desinfeksi oleh-produk (DBPs). *Samudera Coast. Manag.* 105, 100-105 .
- David, M., Gollasch, S., Leppakoski, E., 2013. Penilaian risiko untuk pembebasan dari manajemen air pemberat - studi kasus Laut Baltik. *Maret Pollut. Banteng.* 75 (1), 205-217 .
- de Lafontaine, Y., Despatie, SP, 2014. Kinerja proses deoksigenasi biologis untuk kapal pemberat pengolahan air di bawah air yang sangat dingin kondisi. *Sci. Total Lingkungan.* 472, 1036-1043 .
- Delacroix, S., Vogelsang, C., Tobiesen, A., Liltved, H., 2013. Disinfeksi oleh-produk dan ekotoksitas air ballast setelah pengobatan oksidatif - hasil dan pengalaman dari tujuh tahun pengujian skala penuh dari sistem manajemen air pemberat. *Maret Pollut. Banteng.* 73, 24-36 .
- Drake, LA, Tamburri, MN, Pertama, MR, Smith, GJ, Johengen, TH 2014. how many organisme debit air ballast? Sebuah kerangka kerja untuk memvalidasi dan memilih alat pemantauan kepatuhan. *Maret Pollut. Banteng.* 86 (1), 122-128 .
- Efe, B., 2016. Sebuah terintegrasi kelompok multi-kriteria pendekatan pengambilan keputusan fuzzy pemilihan sistem ERP. *Appl. Lembut Comput.* 38, 106-117 .
- Feng, D., Shi, J., Sun, D., 2015a. Inaktivasi mikroalga dalam air ballast dengan pulsa pengobatan cahaya yang kuat. *Maret Pollut. Banteng.* 90 (1), 299-303 .
- Feng, D., Xu, S., Liu, G., 2015b. Penerapan amobil TiO<sub>2</sub> photocatalysis untuk meningkatkan inaktivasi Heterosigma akashiwo dalam air ballast oleh intens cahaya berdenyut. *Chemosphere* 125, 102-107 .
- Fisher, D., Yonkos, L., Ziegler, G., Friedel, E., Burton, D., 2014. akut dan toksisitas kronis produk samping desinfeksi dipilih untuk Daphnia magna, Cyprinodon variegatus, dan Isochrysis Galbana. *Air Res.* 55, 233-244 .
- Garrett, MJ, Puchulategui, C., Selwood, AI, Wolny, JL, 2014. Identi fi kasi dari dino berbahaya fi agellate Vulcanodinium rugosum pulih dari pemberat tangki global sebuah perjalanan kapal di Pelabuhan Tampa Bay, Florida, Amerika Serikat. *Berbahaya Algae* 39, 202-209 .
- Ghosh, DN 2011. Analytic proses hirarki dan metode TOPSIS untuk mengevaluasi kinerja dosen dalam pendidikan teknik. *Universal J. Comput. Sci. Technol.* 12, 63-70 .
- Huoa, L., Lan, J., Wang, Z. 2011. metode prioritas parametrik Baru untuk proses hirarki analisis berdasarkan matriks perbandingan berpasangan. *Matematika. Comput. Model.* 54 (11), 2736-2749 .
- Hyttäinen, K., Lehtiniemi, M., Niemi, JK, Tikka, K., 2013. Sebuah kerangka optimasi untuk mengatasi spesies invasif air. *Ecol. Econ.* 91, 69-79 .
- ic, YT, Yurdakul, M. 2010. Pengembangan kredibilitas scoring sistem pendukung keputusan cepat menggunakan TOPSIS kabur. *Ahli Syst. Appl.* 37 (1), 567-574 . IMO, 2004. Konvensi Internasional untuk kontrol dan

- IMO, 2005. Pedoman Persetujuan Sistem Manajemen Air Ballast (G8). Resolusi MEPC 125, 53 .
- IMO, 2008. Pedoman pengambilan sampel air pemberat (G2). Resolusi MEPC 173, 58 .
- Kaliszewski, I., Podkopaev, D., 2016. Simple addit bobot - sebuah metamodel untuk beberapa kriteria metode analisis keputusan. *Ahli Syst. Appl.* 54, 155-161 .
- Kandakoglu, A., Celik, M., Akgun, I., pendekatan 2009. Multi-metodologis untuk registri pengiriman industri transportasi pilihan inmaritime. *Matematika. Comput. Model.* 49 (3), 586-597 .
- Karahalios, H., 2014. Kontribusi manajemen risiko dalam pengelolaan kapal kasus tabrakan kapal. *Saf. Sci.* 63, 104-114 .
- Karahalios, H., Yang, ZL, Williams, V., Wang, J., 2011. Sebuah sistem yang diusulkan dari Scorecard hirarkis untuk menilai pelaksanaan peraturan maritim. *Saf. Sci.* 49, 450-462 .
- Karanikola, V., Ngo, AT, Valdes, JR, 2011. Plankton filtrasi dengan kompresibel kemasan karet remah. *Chemosphere* 82, 597-602 .
- Krohling, RA, Campanharo, VC, 2011. TOPSIS Fuzzy untuk pengambilan keputusan kelompok: studi kasus kecelakaan dengan tumpahan minyak di laut. *Ahli Syst. Appl.* 38 (4), 4190-4197 .
- Kubler, S., Robert, J., Derigent, W., Voisin, A., Le Traon, Y., 2016. Sebuah negara-of-the-art survei & testbed AHP (FAHP) aplikasi kabur. *Ahli Syst. Appl.* 65, 398-422 .
- Lacasa, E., Tsolaki, E., Sbokou, Z., Rodrigo, MA, Mantzavinos, D., Diamadopoulos, E., 2013. Elektrokimia desinfeksi air ballast simulasi pada elektroda berlian konduktif. *Chem. Eng. J.* 223, 516-523 .
- Lacasse, O., Rochon, A., Roy, S., 2013. konsentrasi tinggi kista dari dino berpotensi beracun fl agellate Alexandrium spesies kompleks tamarensis di Bedford Basin, Halifax, Nova Scotia, Kanada. *Maret Pollut. Banteng.* 66 (1), 230-233 .
- Lee, D., 2006. sistem berbasis pengetahuan untuk kontrol keselamatan kapal yang rusak. *Knowl. Berbasis Syst.* 19, 187-191 .
- Lehtiniemi, M., Ojaveer, H., David, M., Galil, B., Gollasch, S., McKenzie, C., Anna Occhipinti-Ambrogio, A., Olenini, S., Pederson, J. 2015. dosis kebenaran-pemantauan spesies non-pribumi laut untuk melayani kebutuhan legislatif. *Maret Pol.* 54, 26-35 .
- Leidenberger, S., Obst, M., Kulawik, R., Stelzer, K., Heyer, K., Hardisty, A., Bourlat, SJ, 2015. Mengevaluasi potensi pemodelan niche ekologis sebagai komponen dalam penilaian risiko spesies laut non-pribumi. *Maret Pollut. Banteng.* 97 (1), 470-487 .
- Li, M., Qiang, Z., Wang, C., Bolton, JR, Lian, J., 2013. Pengembangan biosimetry merdu dipantau untuk validasi pengaruh dalam reaktor disinfeksi ultraviolet. *September Purif. Technol.* 117, 12-17 .
- Liu, TK, Chang, CH, Chou, ML, 2014. strategi manajemen untuk mencegah masuknya spesies air non-pribumi dalam menanggapi Ballast yang Konvensi air di Taiwan. *Maret Pol.* 44, 187-195 .
- Lloyds Register, 2014. Tersedia Ballast Water Treatment Sistem [http://www.lr.org/en/\\_images/213-555531\\_Available\\_ballast\\_water\\_treatment\\_systems.xlsx](http://www.lr.org/en/_images/213-555531_Available_ballast_water_treatment_systems.xlsx) (Diakses 20.11.16).
- Mamlook, R., Badran, O., Abu-Khader, MM, Holdo, A., Dales, J., 2008. Fuzzy analisis set untuk sistem pengolahan air ballast: kontrol terbaik yang tersedia teknologi. *Technol bersih. Mengepung. Kebijakan* 10 (4), 397-407 .
- Maranda, L., Cox, AM, Campbell, RG, Smith, DC, 2013. Klorin dioksida sebagai pengobatan untuk air pemberat untuk mengontrol spesies invasif: pengujian kapal. *Merusak. Pollut. Banteng.* 75 (1), 76-89 .
- Martinez, LF, Mahamud, MM, Lavin, AG, Bueno, JL, 2013. pertumbuhan kembali budaya fitoplankton setelah disinfeksi UV. *Maret Pollut. Banteng.* 67 (1), 152-157 .
- Momeni, MM, Maleki, MH, Afshari, MA, Moradi, JS, Mohammadi, J., 2011. Pendekatan fuzzy MCDM untuk mengevaluasi bank swasta yang terdaftar di Teheran Stock Efek berdasarkan balanced scorecard. *Int. J. dari Bus. Admi.* 2 (1), 80-97 .
- Moreno-Andrés, J., Romero-Martínez, L., Acevedo-Merino, A., Nebot, E., 2016. Menentukan disinfeksi efisiensi pada *E. faecalis* di air asin oleh fotolisis H<sub>2</sub> HAI z implikasi untuk pengolahan air ballast. *Chem. Eng. J.* 283, 1339-1348 .
- Murphy, KR, Boehme, JR, Brown, C., Noble, M., Smith, G., Sparks, D., Ruiz, GM, 2013. Menjelajahi batas bahan organik terlarut fl uorescence untuk menentukan sumber air laut dan pertukaran air ballast di AS Pasifik pantai. *J. Maret Syst.* 111, 157-166 .
- Oelcer, AI, Majumder, J., 2006. Sebuah berbasis kasus sistem pendukung keputusan untuk krisis banjir yang di atas kapal. *Qual. Reliab. Eng. Int.* 22 (1), 59-78 .
- Pam, ED, Li, KX, Wall, A., Yang, Z., Wang, J., 2013. Pendekatan subjektif untuk estimasi risiko air pemberat. *Samudera Eng.* 61, 66-76 .
- Pawson, DL, Pawson, DJ, 2013. landak bathyal laut di Bahama, dengan catatan pada meliputi perilaku di Echinoidea laut dalam (Echinodermata: Echinoidea). *Deep Sea Res. Bagian II* 92, 207-213 .
- Qi, Z., Eames, I., 2015. Implikasi dari tangki ballast geometri dan teknologi pengolahan pada penghapusan NIS. *Samudera Eng.* 103, 211-222 .
- Qi, Z., Eames, I., Greig, A., 2014. Flushing ballast tank. *Samudera Eng.* 89, 157-172 .
- Saaty, TL 1977. Sebuah skala metode untuk prioritas dalam struktur hirarkis. *J. Matematika. Psych.* 13, 234-281 .
- Saaty, TL 1980. Proses analitik hirarki: perencanaan, penentuan prioritas, alokasi sumber daya. McGraw-Hill, Axtin, TX .
- Saaty, TL 1994. Cara membuat keputusan: proses hirarki analisis. *Antarmuka* 24 (6), 19-43 .
- Sadi-Nezhad, S., Damghani, K., 2010. Penerapan metode TOPSIS dasar fuzzy pada rasio modi fi preferensi ed dan pengukuran jarak fuzzy penilaian traf fi kinerja pusat c polisi. *Appl. Lembut Comput.* 104, 1028-1039 .
- Scriven, DR, DiBacco, C., Locke, A., Theriault, TW 2015. pengelolaan air Ballast di Kanada: perspektif sejarah dan implikasi untuk masa depan. *Maret Pol.* 59, 121-133 .
- Seiden, JM, Rivkin, RB, 2014. kontrol biologis pada populasi bakteri dalam air ballast selama transit laut. *Maret Pollut. Banteng.* 78 (1), 7-14 .
- Sii, HS, Wang, J., 2003. Sebuah dukungan kerangka desain-keputusan untuk evaluasi pilihan desain / proposal menggunakan metodologi struktur komposit berdasarkan perkiraan pendekatan penalaran dan metode penalaran bukti. *Proc. Saya MECH E Bagian E J. Proses Mech. Eng.* 217 (1), 59-76 .
- Stehouwer, PP, van Slooten, C., Peperzak, L., 2013. dinamika mikroba dalam air ballast asetat yang diperkaya pada temperatur yang berbeda. *Ecotoxicol. Mengepung. Saf.* 96, 93-98 .
- Steichen, JL, Schulze, A., Brinkmeyer, R., QUIGG, A., 2014. Semua kapal! Sebuah survei biologi air ballast di atas kapal yang mencakup Samudera Atlantik Utara. *Maret Pollut. Banteng.* 87 (1), 201-210 .
- Sutherland, TF, Levings, CD, 2013. Mengukur spesies non-pribumi di akumulasi residual ballast bubuk (desir) tiba di Vancouver, British Kolumbia. *Prog. Oceanogr.* 115, 211-218 .
- Tang, Z., Butkus, MA, Xie, YF, 2006. Crumb karet filtrasi: teknologi potensial untuk pengolahan air ballast. *Maret Environ. Res.* 61, 410-423 .
- Tavana, M., Hatami-Marbini, A. 2011. Sebuah kelompok AHP-TOPSIS kerangka kerja untuk perencanaan misi ight ruang fl manusia di NASA. *Ahli Syst. Appl.* 38 (11), 13588-13603 .
- Taylan, O., Kabli, MR, Saeedpoor, M., Vafadarnikjoo, A., 2015. Komentar pada proyek-proyek konstruksi seleksi dan penilaian risiko oleh Fuzzy AHP dan fuzzy metodologi TOPSIS. *Appl. Lembut Comput.* 36, 419-421 .
- Tsaur, SH, Chang, TY, Yen, CH, 2002. Penilaian kualitas layanan penerbangan oleh MCDM kabur. *Pariwisata Mengelola.* 23 (2), 107-115 .
- US Coast Guard (USCG), 2012. Standar organisme dalam air ballast kapal dibuang di perairan AS hidup. Peraturan akhir Federal Registry 77, 17254- 17304 .
- Badan Perlindungan Lingkungan (EPA), 2013. Kapal izin umum untuk pembuangan yang terkait dengan operasi normal kapal (VGP) otorisasi untuk debit di bawah polutan nasional sistem pembuangan eliminasi (NPDES). Washington, DC, p. 194 < [http://www.epa.gov/npdes/pubs/vgp\\_permit2013.pdf](http://www.epa.gov/npdes/pubs/vgp_permit2013.pdf) > (Diakses 20.9.16).
- Ugboma, C., Ogwude, IC 2004. Jasa pengukuran berkualitas di pelabuhan ekonomi berkembang: survey port Nigeria. *Mengelola Kualitas Layanan* 14 (6), 487-495 .
- Ung, ST, Williams, V., Chen, HS, Bonsall, S., Wang, J., 2006. penilaian Human error dan manajemen dalam operasi pelabuhan menggunakan Fuzzy AHP. *Maret Technol. Soc. J.* 40 (1), 73-86 .

- Veisi, H., Liaghati, H., Alipour, A., 2016. Mengembangkan pendekatan etika berbasis indikator pertanian berkelanjutan menggunakan proses hirarki analitik (AHP). *Ecol. Ind.* **60**, 644-654 .
- Wang, ZX, Zhao, JH, Jia, XH, Fang, JG, Zhang, B., Ding, GQ, 2013. Dalam memengaruhi pengobatan inaktivasi air ballast kapal pada ketahanan korosi kapal pelat baja. *J. Besi. Baja Res. Int.* **20** (11), 85-89 .
- Wedley, WC, 1993. Konsistensi prediksi untuk matriks AHP tidak lengkap. *Matematika. Comput. Model.* **17** (415), 151-161 .
- Wennberg, AC, Tryland, I., Østensvik, Ø., Secic, I., Monshaugen, M., Liltved, H., 2013. Pengaruh pengolahan air pada potensi pertumbuhan *Vibrio cholerae* dan *Vibrio parahaemolyticus* di air laut. *Maret Environ. Res.* **83**, 10-15 .
- Werschun, B., Banerji, S., Basurko, OC, David, M., Fuhr, F., Gollasch, S., Grummt, T., Haarich, M., Jha, AN, Kacan, S., Kehr, A., 2014. Muncul risiko dari ballast pengolahan air: menjelang Konvensi Manajemen Ballast Water International. *Chemosphere* **112**, 256-266 .
- Yamada, Y., Koibuchi, M., Miyamoto, K., Ueda, J., Uheda, E. 2015. Perincian pektin lamella tengah dengan OH selama amputasi yang cepat dalam Azolla. Sel tanaman Mengepung. <http://dx.doi.org/10.1111/pce.12505> .
- Yang, ZL, Bonsall, S., Wang, J., 2011. TOPSIS Perkiraan untuk seleksi kapal lingkungan underuncertain. *Ahli Syst. Appl.* **38**, 14.523-14.534 . Yildirim, V., Yomralioglu, T., Nisanci, R., Çolak, HE, Bediroğlu, S., Saralioglu, E., 2016. A spasial multikriteria pengambilan keputusan metode untuk pipa transmisi gas alam routing. *Struct. Infrastruct. Eng.*, 1-14 <http://dx.doi.org/10.1080/15732479.2016.1173071> .
- Ying, W., Yan-ping, L., 2007. Penelitian tentang Evaluasi dan Seleksi Partner Logistik Aliansi Strategis Berdasarkan AHP-TOPSIS. dalam International Konferensi Ilmu Manajemen dan Teknik, Harbin, 20-22 Agustus, 947-952.
- Zaiko, A., Martinez, JL, Ardura, A., Clusa, L., Borrell, YJ, Samuiloviene, A., Garcia-Vazquez, E. 2015. Mendeteksi spesies gangguan menggunakan NGST: metodologi kekurangan dan aplikasi mungkin dalam pemantauan air pemberat. *Maret Environ. Res.* **112**, 64-72 .
- Zhang, N., Ma, B., Li, J., Zhang, Z., 2013. Faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan kimia oleh-produk selama pengolahan air ballast didasarkan pada oksidasi maju proses. *Chem. Eng. J.* **231**, 427-433 .
- Zheng, G., Zhu, N., Tian, Z., Chen, Y., Sun, B., 2012. Aplikasi dari trapesium metode AHP Fuzzy untuk evaluasi keselamatan kerja dan rating peringatan dini panas dan lingkungan lembab. *Saf. Sci.* **50** (2), 228-239 .
- Zhu, L., Dia, ZH, Li, P., Xu, TS, Zhao, H., Zhang, XF, Gao, ZW, 2013. penelitian tentang berdenyut debit electrohydraulic busur dan penerapannya dalam pengolahan air ballast. *J. Electrostat.* **71** (4), 728-733 .