

UPDATE ESTIMASI EMISI GAS BUANG KAPAL DI PERAIRAN BATAM-SINGAPORE MENGGUNAKAN DATA *AUTOMATIC IDENTIFICATION SYSTEM* (AIS)

Hendra Saputra^{1*}, Nidia Yuniarsih¹, Naufal Abdurrahman¹, Mufti Fathonah Muvariz¹, Sapto Wiratno Satoto¹, Tri Ramadani Arjo²

¹Teknik Perencanaan dan Konstruksi Kapal, Polilteknik Negeri Batam, Indonesia

²Teknik Informatika, Polilteknik Negeri Batam, Indonesia

Email: hendrasaputra@polibatam.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menghitung emisi gas buang yang dihasilkan dari aktifitas pelayaran kapal yang berada di perairan Batam-Singapore menggunakan data AIS (*Automatic Identification System*). Wilayah ini merupakan salah satu wilayah perairan dengan aktifitas pelayaran terpadat sepanjang selat Malaka. Hasil analisa menunjukkan jumlah rata-rata kapal per-jam pada 4 September 2018 sebanyak 1191 kapal dengan kepadatan tertinggi terjadi pada pukul 22.00 dengan jumlah 1326 kapal. Hasil perhitungan emisi pada jam tersebut menunjukkan jumlah emisi NO_x, CO, CO₂, VOC, SO_x and PM masing-masing sebesar 48,716.48 kg/hour, 62,297.39 kg/hour, 3,541,656.53 kg/hour, 14,751.79 kg/hour, 1,339.14 kg/hour and 22,319.03 kg/hour. Hasil ini merupakan *updating* nilai emisi dari penelitian-penelitian sebelumnya yang menggunakan data AIS perjam pada tahun 2011 dan 2014. Hasil perbandingan menunjukkan perbedaan cukup signifikan terhadap nilai emisi CO₂.

Kata Kunci: AIS (*Automatic Identification System*), Emisi Gas Buang, Kepadatan Pelayaran Kapal, Perairan Batam-Singapore

Abstract

This paper aims to estimate exhaust emission from marine traffic passing through Batam-Singapore waterways by using AIS (*Automatic Identification System*) data. Batam-Singapore waterways is the most congested area along the Strait of Malacca. The result shows there were 1191 ship average passing through the area on September 4, 2018 with the highest traffic density were occurs at 22.00 by the total 1326 ships. The result of ship emission show that NO_x, CO, CO₂, VOC, SO_x and PM emission rate were 48,716.48 kg/hour, 62,297.39 kg/hour, 3,541,656.53 kg/hour, 14,751.79 kg/hour, 1,339.14 kg/hour and 22,319.03 kg/hour, respectively. This result of emission calculation is an updating of emission rate compared to previous research that using hourly AIS data on 2011 and 2014. The result of comparison indicate the significant different result of CO₂ emission.

Keywords: AIS (*Automatic Identification System*), Ship Emission, Marine Traffic, Batam-Singapore waterways

1. PENDAHULUAN

Selat Malaka khususnya di perairan Batam-Singapore merupakan salah satu perairan terpadat yang digunakan sebagai jalur pelayaran kapal baik pelayaran nasional maupun internasional. Perairan Batam-Singapore merupakan perairan perbatasan antara tiga negara yaitu Indonesia, Singapore dan Malaysia. Wilayah ini dilewati lebih dari 1500 kapal perharinya dan sekitar 1000 kapal perjamnya. Jumlah ini cukup tinggi jika dibandingkan dengan jumlah kapal yang melwati salah satu selata terpadat di Indonesia yaitu di Selat Madura dengan jumlah kapal hanya sebesar 120 kapal perharinya [1][2][3].

Jumlah kepadatan kapal yang tinggi juga menyebabkan tingginya jumlah emisi gas buang yang dihasilkan. Pada penelitian yang dilakukan sebelumnya diketahui bahwa jumlah emisi yang dihasilkan pada tahun 2014 di wilayah perairan iniyaitu berupa NO_x, CO, CO₂, VOC, PM and SO_x masing-masing adalah 12595.35 g/second, 25725.19 g/second, 11832.31 g/second, 5973.23 g/second, 443.71 g/second dan 22185.57 g/second[2].

Penelitian ini mencoba melakukan perhitungan ulang emisi gas buang kapal menggunakan data AIS (*Automatic Identification System*) yang diambil pada 4 September 2018 pukul 22.00. Data AIS yang digunakan pada penelitian ini didapat dari pengembangan sistem AIS untuk wilayah

perairan Batam-Singapore dengan lokasi AIS station (AIS receiver) berada dikampus Politeknik Negeri Batam. Penelitian ini juga melakukan perbandingan hasil emisi gas buang yang dihasilkan pada beberapa penelitian-penelitian sebelumnya. Perhitungan emisi yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan standar *European (MEET) methodology* yang telah digunakan pada beberapa penelitian-penelitian sebelumnya [4][5].

2. AUTOMATIC IDENTIFICATION SYSTEM

Automatic Identification System (AIS) merupakan sistem yang menyediakan informasi atau kapal serta mampu melakukan pengiriman informasi antar kapal maupun antar kapal dengan sebuah stasiun penerima yang berada didarat secara otomatis menggunakan gelombang radio VHF secara otomatis.

International Maritime Organization (IMO) mengatur penggunaan peralatan pada seluruh kapal dengan bobot diatas 300GT pada pelayaran internasional, kapal diatas 500GT pada pelayaran non-internasional dan diwajibkan pada seluruh kapal penumpang (*passenger ship*)[6]. IMO mengatur penggunaan AIS dengan tujuan untuk memenuhi regulasi keselamatan dan keamanan yang berfungsi sebagai pencegahan tabrakan kapal (*collision avoidance*), *vessel traffic servie*, alat bantu dalam navigasi, *search and rescue* dan investagi kecelakaan[5].

AIS diklasifikasikan menjadi 7 tipe *class* yang berbeda yaitu *Class A*, *Class B*, *Base Station*, *Aids to Navigation (AtoN)*, *Search and Rescue Transponder (SART)* dan *Specialist AIS Transponder*[6]. Pada AIS *Class A*, informasi yang diberikan setiap 2 hingga 6 detik pada kondisi berlayar dan dalam kondisi lego jangkar setiap 3 menit adalah sebagai berikut:

1. *MMSI number*
2. *Navigation Status*

3. *Rate of turn*
4. *Speed over ground*
5. *Possition accuracy*
6. *Longitude and Latitude*
7. *Course over ground*
8. *True heading*
9. *Time stamps*

Sebuah AIS receiver menerima AIS message yang bersifat rahasia dalam bentuk NMEA 0183 yang kemudian dipecahkan menggunakan standar ITU M.1371-2. Konversi AIS message menggunakan standar ITU dan ASCII akan menghasilkan pesan AIS sebagai berikut:

Tabel 1 AIS Message

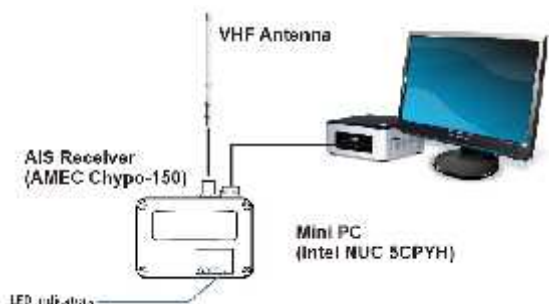
Field	Length	Description
0-5	6	Message Type
06-Jul	2	Repeat Indicator
Agust-37	30	MMSI
38-41	4	Navigation Status
42-49	8	Rate of Turn (ROT)
50-59	10	Speed Over Ground (SOG)
60-60	1	Position Accuracy
61-88	28	Longitude
89-115	27	Latitude
116-127	12	Course Over Ground (COG)
128-136	9	True Heading (HDG)
137-142	6	Time Stamp
143-144	2	Maneuver Indicator
145-147	3	Spare
148-148	1	RAIM flag
149-167	19	Radio status

Salah satu data penting dalam AIS adalah MMSI (*Maritime Mobile Service Identity*). MMSI merupakan 9 digit dengan format $M_1I_2D_3X_4X_5X_6X_7X_8X_9$ yang digunakan untuk mengidentifikasi:

1. Kapal (*individual vessel* atau *ship station*)
2. Grup kapal (*group of vessels*)
3. Stasiun pandai atau *group* stasiun pantai (*shore station or group of shore stations*)
4. SAR aircraft
5. Navigation aids

A. Pengembangan Sistem AIS

Dalam penelitian ini, data AIS didapat melalui hasil pengembangan sistem AIS untuk wilayah perairan Batam-Singapore dengan station berada pada kampus Politeknik Negeri Batam. Sistem AIS ini terdiri dari beberapa peralatan yaitu AIS receiver, AIS antenna dan komputer seperti terlihat pada gambar 1 dan 2.

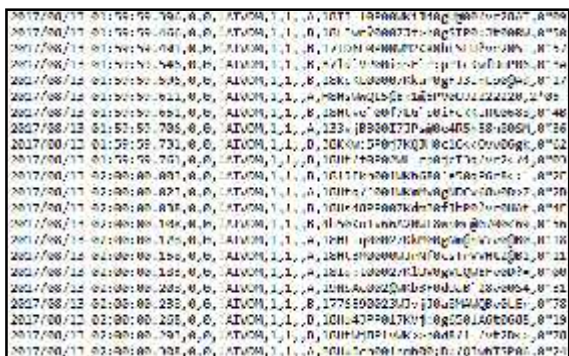


Gambar 1 Skema peralatan AIS



Gambar 2 Peralatan AIS station

Pengembangan sistem AIS menggunakan berfungsi merubah pesan AIS berupa NMEA 0183 seperti pada gambar 3 menjadi informasi kapal seperti pada gambar 4.



Gambar 3 Pesan AIS (NMEA 0183)

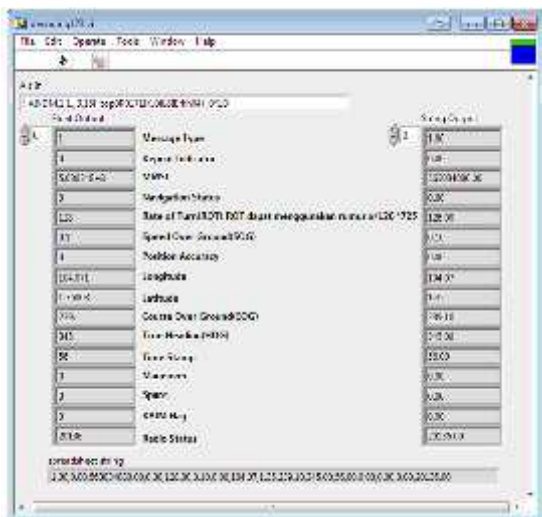
Proses record data AIS dan konversi pesan AIS (NMEA 0183) menjadi informasi kapal menggunakan sebuah program yang dikembangkan menggunakan LabView. Proses konversi ini disebut decode yang menghasilkan informasi berupa Tanggal (*Date*), Jam (*time*), *Packet Type*, *Channel*, *AIS Type*, *Repeat Indicator*, *MMSI*, *Navigation Status*, *Rate of Turn*, *Speed Over Ground*, *Position Accuracy*, *Longitude*, *Latitude*, *Course Over Ground*, *True Heading*, *Time Stamp*, and *Maneuver Indicator*.

tanggal	jam	MMSI	Nav Status	LO	SOA	course	acc	SPD	True Head	Time Stamp	Maneuver
07/02/2017	23:58:55	523228000	0	A	0	203.95	1.2123	0	-1	23	U
07/02/2017	23:58:55	523228000	0	A	0	203.95	1.2123	0	128	20	U
07/02/2017	23:58:55	523228000	0	A	0	103.71	1.2123	0	1	24	U
07/02/2017	23:58:55	523228000	0	C	4.3	-136.5	10.019	-1180	-3	18	S
07/02/2017	23:58:55	523228000	0	C	0	203.94	1.2123	0	206	28	U
07/02/2017	23:58:55	523228000	0	A	0	203.95	1.2123	0	1	1	U
07/02/2017	23:58:55	523228000	0	C	4.3	103.65	1.2123	-1175	-203	20	U
07/02/2017	23:58:55	523228000	0	C	2.5	103.66	1.2123	1140	161	22	U
07/02/2017	23:58:55	523228000	0	A	0	203.95	1.2123	0	1	22	U
07/02/2017	23:58:55	523228000	0	A	0	11.7	102.04	-1000	940	0	U
07/02/2017	00:00:00	523228000	0	C	0	103.70	1.1115	200	0	20	U
07/02/2017	00:00:00	523228000	0	C	0	203.95	1.2123	2026	226	22	U
07/02/2017	00:00:00	523228000	0	A	0	203.95	1.2123	0	1	22	U
07/02/2017	00:00:00	523228000	0	A	0	203.95	1.2123	0	1	22	U
07/02/2017	00:00:00	523228000	0	A	0	203.95	1.2123	0	1	22	U
07/02/2017	00:00:00	523228000	0	A	0	203.95	1.2123	0	1	22	U
07/02/2017	00:00:00	523228000	0	C	0	203.95	1.2123	2026	226	22	U
07/02/2017	00:00:00	523228000	0	C	0	203.95	1.2123	2026	226	22	U

Gambar 4 Hasil decode pesan AIS (NMEA 0183) menjadi informasi kapal



Gambar 5 Tampilan utama aplikasi AIS record dan decode



Gambar 6Prose decode pada NMEA Logging

B. Data AIS (Automatic Identification System)

Pada penelitian ini, data yang digunakan adalah data pada tanggal 4 September 2018 pukul 22.00 yang didapat dari hasil pengembangan sistem AIS dengan lokasi stasiun penerima (AIS station) berada dikampus Politeknik Negeri Batam. Tabel menunjukkan kepadatan kapal pada perairan Batam-Singapore pada tanggal 4 September 2018.

Tabel 2.Kepadatan kapal di perairan Batam-Singapore pada 4 September 2018

Waktu	Jumlah MMSI	Individual	
		Vessel (Ship Station)	Invalid
0	1147	1104	43
1	1135	1092	43
2	1117	1075	42
3	1125	1079	46
4	1143	1098	45
5	1177	1133	44
6	1236	1191	45
7	1280	1237	43
8	1261	1220	41
9	1286	1243	43
10	1304	1260	44
11	1291	1248	43
12	1276	1235	41
13	1286	1243	43
14	1255	1213	42

Waktu	Jumlah MMSI	Individual	
		Vessel (Ship Station)	Invalid
15	1249	1206	43
16	1201	1159	42
17	1222	1173	49
18	1213	1170	43
19	1200	1158	42
20	1222	1179	43
21	1270	1220	50
22	1382	1326	56
23	1367	1316	51
Average	1235	1191	44

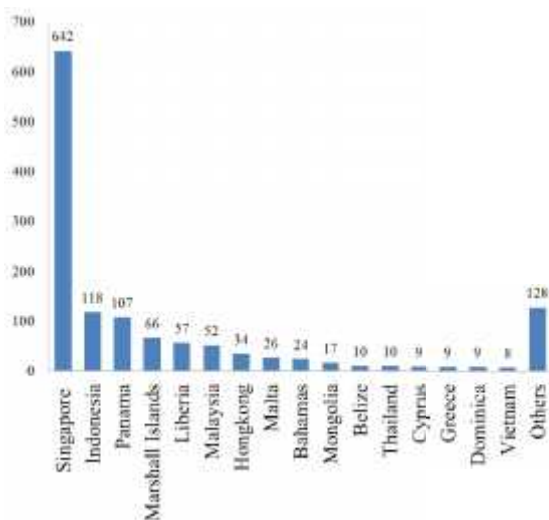
Pada tabel diatas diketahui rata-rata kapal yang melewati perairan Batam-Singapore pada 4 September 2018 sebanyak 1191 kapal. Kepadatan tertinggi terjadi pada pukul 22.00 dengan jumlah 1326 kapal.

Pada tabel 2 tersebut, data valid yang menunjukkan *Individual Vessel (Ship Station)*. Individual vessel merupakan 3 digit pertama dari struktur MMSI (M₁I₂D₃X₄X₅X₆X₇X₈X₉) atau MID (*Maritime Identification Digits*) yang menunjukkan kode negara (country code) antara 200 hingga 799[7]. Sedangkan data invalid merupakan data MMSI yang menunjukkan selain kapal, yaitu berupagroup of vessels, shore station or group of shore stations, SAR aircrafts dan navigation aids.



Gambar 7.Grafik jumlah kapal per-jam di perairan Batam-Singapore pada 4 September 2018

Gambar 8 menunjukkan data kapal berdasarkan bendera (*flag register*) pada 4 September 2018 pukul 22.00.

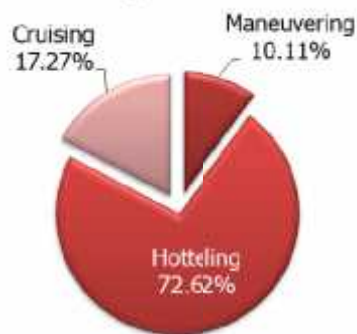


Gambar 8. Jumlah kapal berdasarkan bendera (*flag register*) pada 4 September 2018, pukul 22.00

Jumlah kapal terbanyak merupakan kapal berbendera Singapore dengan jumlah 642 kapal (48.42%), kapal berbendera Indonesia dengan jumlah 118 kapal (8.9%) dan kapal berbendera Panama dengan jumlah 107 kapal (8.07%) dari total 1326 kapal yang melewati perairan Batam-Singapore pada waktu tersebut.

Gambar 9 dan tabel 3 menunjukkan jumlah kapal pada 4 September 2018 pukul 22.00 berdasarkan tipe dan mode operasional kapal. Data menunjukkan bahwa tipe kapal *liquid bulk*, *tugs* dan lainnya (*other*) merupakan tipe kapal terbanyak yang berlayar pada perairan Batam-Singapore pada waktu tersebut.

% Jumlah kapal berdasarkan mode operatinal



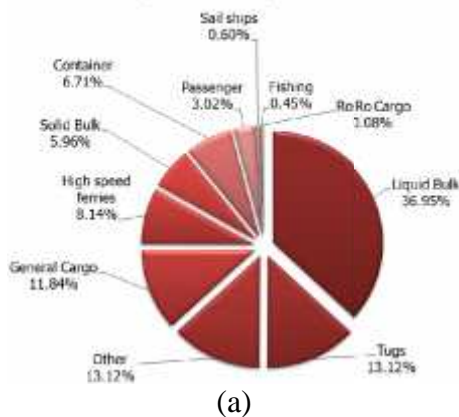
(b)

Gambar 9. Jumlah kapal pada 4 September 2018, pukul 22.00 berdasarkan (a) tipe kapal (b) mode operasional kapal

Tabel 3. Kepadatan kapal berdasarkan tipe kapal pada 4 September 2018 pukul 22.00

Nama	Jumlah	% Jumlah
Liquid Bulk	490	36.95%
Tugs	174	13.12%
Other	174	13.12%
General Cargo	157	11.84%
High speed ferries	108	8.14%
Solid Bulk	79	5.96%
Container	89	6.71%
Passenger	40	3.02%
Sail ships	8	0.60%
Fishing	6	0.45%
Ro-Ro Cargo	1	0.08%
Total	1326	100%

% Jumlah kapal berdasarkan tipe pada 4 September 2018 pukul 22.00



(a)

3. EMISI GAS BUANG KAPAL

A. Metodologi Estimasi Emisi

Pada penelitian sebelumnya, penulis telah mengimplementasikan penggunaan metode perhitungan emisi gas buang kapal berupa NO_x, CO, CO₂, VOC, PM dan SO_x berdasarkan MEET project (*methodologies for estimating air pollutant emissions from transport*) [4][8]. Metode ini digunakan untuk menghitung konsumsi bahan bakar harian dari 12 class kapal yang berbeda yang memiliki GT diatas 100 GT (*gross tonnage*). Metode ini

juga mempertimbangkan tiga mode operasional kapal atau kondisi operasional kapal yaitu *maneuvering*, *hotelling*, dan *cruising*.

Kondisi manuver didefinisikan sebagai kapal pada waktu mendekati, docking, berangkat dari pelabuhan. Kondisi ini juga bisa dilihat dari perubahan kecepatan yang terjadi secara signifikan dalam waktu yang relatif singkat[9].

Kondisi hotelling merupakan kondisi yang pada saat kapal bersandar. Kondisi ini dapat juga dilihat dari data kecepatan kapal yang mendekati nol. Sedangkan kondisi cruising merupakan kondisi kapal saat berlayar dengan kecepatan konstan [9].

Perhitungan emisi gas buang yang dihasilkan oleh mesin utama kapal dapat dihitung menggunakan persamaan berikut[4][9]:

$$E_i = \sum_{jklm} S_{jklm} \cdot E_{ijklm} \quad (1)$$

$$E_{ijklm} = S_{jklm}(GT) \cdot t_{ijklm} \cdot F_{ijklm} \quad (2)$$

Dimana:

- i : pollutant
- j : Tipe bahan bakar
- k : Class kapal
- l : Tipe mesin
- m : mode operasional kapal (*hotelling*, *cruising* dan *manouvering*)
- E_i : total emisi dari pollutant *i*
- E_{ijklm} : total emisi pollutant *i* dari penggunaan bahan bakar *j* pada kapal kelas *k* dengan tipe mesin *l* dalam mode *m*
- $S_{jklm}(GT)$: konsumsi harian bahan bakar *j* pada kapal kelas *k* dalam mode *m* sebagai fungsi dari gross tonnage
- t_{ijklm} : hari navigasi dari kapal kelas *k* dengan tipe mesin *l* menggunakan bahan bakar *j* dalam mode *m*
- F_{ijklm} : rata-rata emisi faktor pollutant *I* dari bahan bakar *j* dengan tipe mesin *l* dalam mode *m*

Perhitungan untuk menentukan faktor konsumsi bahan bakar dapat dilihat pada tabel 4 dan faktor emisi dari polutan dan mode operasional kapal dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 412 Class kapal dan faktor konsumsi bahan bakar (ton/day)

Ship Class	Fuel Consumption as function of GT (Gross Tonnage)
Solid Bulk	$C_{jk} = 20.1860 + 0.00049 \times GT$
Liquid Bulk	$C_{jk} = 14.6850 + 0.00079 \times GT$
General Cargo	$C_{jk} = 9.8197 + 0.00143 \times GT$
Container	$C_{jk} = 8.0552 + 0.00235 \times GT$
Ro-Ro Cargo	$C_{jk} = 12.8340 + 0.00156 \times GT$
Passenger	$C_{jk} = 16.9040 + 0.00198 \times GT$
High Speed Ferry	$C_{jk} = 39.4830 + 0.00972 \times GT$
Inland Cargo	$C_{jk} = 9.8197 + 0.00143 \times GT$
Sail Ship	$C_{jk} = 0.4268 + 0.00100 \times GT$
Tugs	$C_{jk} = 5.6511 + 0.01048 \times GT$
Fishing	$C_{jk} = 1.9387 + 0.00448 \times GT$
Other Ships	$C_{jk} = 9.7126 + 0.00091 \times GT$

Tabel 5Faktor emisi (*emission factor*) (kg emission/ton fuel)

Phases	Engine/fuel type	Nox	CO	CO2	VO C	P M	SOx
Cruising	SSD/BFO	87	7.4	3200	2.4	1.2	60
	MSD/BFO	57	7.4	3200	2.4	1.2	60
	HSD/MDO	70	9	3200	3	1.5	20
Manoeuvring	SSD/BFO	78	28	3200	3.6	1.2	60
	MSD/BFO	51	28	3200	3.6	1.2	60
	HSD/MDO	63	34	3200	4.5	1.5	20
Hotelling	SSD/BFO	35	99	3200	23.1	1.2	60
	MSD/BFO	23	99	3200	23.1	1.2	60
	HSD/MDO	28	120	3200	28.9	1.5	20

SSD = Slow Speed Diesel Engine
 MSD = Medium Speed Diesel Engine
 HSD = High Speed Diesel Engine
 BFO = Bunker Fuel Oil
 MDO = Marine Diesel Oil
 VOC = Volatile Organic Compound
 PM = Particulate Matter

Untuk menghitung konsumsi bahan bakar dari mesin bantu (*auxiliary engine*) menggunakan persamaan sebagai berikut[10]:

$$f = 0.2 \times O \times L \quad (3)$$

Dimana:

f : Konsumsi baha bakar/*fuel consumption* (kg/ship/hour)

O : rated output (PS/engine)

L : Faktor beban (*cruising*: 30%, *hotelling* (tanker): 60%, *hotelling* (kapal lainnya, kecuali tankers): 40% dan *maneuvering*: 50%)

B. Jumlah Emisi

Dadri hasil perhitungan menggunakan standar European (MEET *methodology*) didapat jumlah emisi pada 4 September 2018 pukul 22.00 seperti pada tabel 6 dan tabel 7.

Dari hasil perhitungan diketahui kapal berbendera Singapore, Indonesia dan Panama merupakan penyumbang terbesar terhadap emisi gas buang kapal di perairan Batam-Singapore.

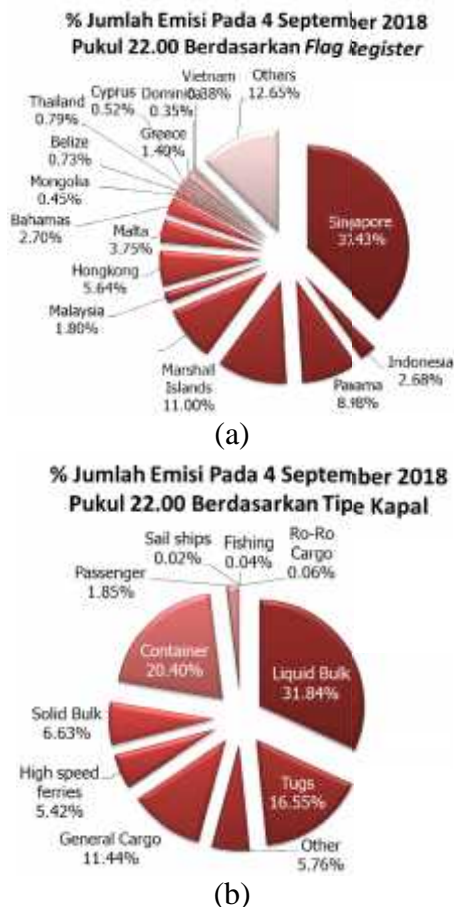
Table 6 Jumlah emisi NOx, CO, CO₂, VOC, SOx dan PM (kg/hour) berdasarkan *Flag Register* pada 4 September 2018 pukul 22.00

No	Bendera	Jumlah Kapal	Nox	CO	CO2	VOC	PM	SOx
1	Singapore	642	18,202.97	21,990.70	1,327,174.04	5,199.43	499.68	8,327.98
2	Indonesia	118	1,015.97	2,030.20	94,663.65	475.93	35.50	591.65
3	Panama	107	4,844.03	5,448.28	317,590.29	1,286.99	123.85	2,064.23
4	Marshall Islands	66	4,708.43	8,191.98	388,715.73	1,923.78	150.04	2,500.72
5	Liberia	57	4,988.60	4,744.15	310,374.47	1,141.21	116.39	1,939.84
6	Malaysia	52	673.08	1,406.48	63,694.92	329.54	23.89	398.09
7	Hongkong	34	2,701.93	3,164.30	200,185.74	757.44	75.07	1,251.16
8	Malta	26	1,999.40	2,090.55	133,109.90	494.36	49.92	831.94
9	Bahamas	24	1,295.24	1,336.20	95,936.41	323.78	35.98	599.60
10	Mongolia	17	138.91	421.52	15,810.54	98.48	5.93	98.82
11	Belize	10	419.99	185.47	26,152.05	46.70	9.81	163.45
12	Thailand	10	319.11	661.58	27,771.50	155.82	10.41	173.57
13	Cyprus	9	208.64	368.81	18,506.86	87.55	6.94	115.67
14	Greece	9	597.22	881.00	49,501.24	210.35	18.56	309.38
15	Dominica	9	154.21	207.11	12,368.48	49.30	4.64	77.30
16	Vietnam	8	171.62	214.77	13,461.64	51.60	5.05	84.14
20	Other	128	6,277.10	8,954.26	446,639.09	2,119.53	167.49	2,791.49
Total		1326	48,716.48	62,297.39	3,541,656.53	14,751.79	1,339.14	22,319.03

Table 7 Jumlah emisi NOx, CO, CO₂, VOC, SOx dan PM (kg/hour) berdasarkan Tipe Kapal pada 4 September 2018 pukul 22.00

No	Tipe Kapal	Jumlah Kapal	Nox	CO	CO2	VOC	PM	SOx
1	Liquid Bulk	490	12,503.94	23,037.32	1,126,954.71	5,433.56	422.61	7,043.47
2	Tugs	174	7,160.32	10,250.53	587,081.92	2,442.02	220.16	3,669.26
3	Other	174	1,944.85	4,988.60	203,193.07	1,167.83	76.20	1,269.96
4	General Cargo	157	5,733.35	5,064.03	407,409.06	1,223.74	152.78	2,546.31
5	High speed ferries	108	2,399.43	3,262.63	192,278.24	738.10	72.10	1,201.74
6	Solid Bulk	79	3,198.91	3,252.63	235,912.12	785.45	88.47	1,474.45
7	Container	89	14,806.97	11,532.32	718,981.04	2,744.24	280.64	4,677.30
8	Passenger	40	935.76	794.55	65,811.42	190.49	24.68	411.32
9	Sail ships	8	5.31	18.21	644.17	4.18	0.24	4.03
10	Fishing	6	13.47	35.47	1,416.18	7.93	0.53	8.85
11	Ro-Ro Cargo	1	14.19	61.09	1,974.61	14.25	0.74	12.34
Total		1326	48,716.48	62,297.39	3,541,656.53	14,751.79	1,339.14	22,319.03

Dari hasil perhitungan juga diketahui tipe kapal yang menyumbang emisi gas buang terbesar pada perairan Batam-Singapore pada 4 September 2018 pukul 22.00 adalah *liquid bulk*, *tugs* dan jenis kapal lainnya (*Other*).



Gambar 10 Persentase jumlah emisi kapal pada 4 September 2018, pukul 22.00 berdasarkan (a) *flag register* (b) tipe kapal

Total emisi gas buang NOx, CO, CO₂, VOC, SOx and PM dalam kg/jam dan gram/detik serta persentase kontribusinya terhadap total emisi dapat dilihat pada tabel 8.

Table 8 Jumlah emisi NOx, CO, CO₂, VOC, SOx dan PM dan kontribusinya terhadap total emisi di perairan Batam-Singapore pada 4 September 2018 pukul 22.00

No	Polutan	Total Emission Rate		% kontribusi
		kg/hour	g/second	
1	Nox	48,716.48	13,532.36	1.32%
2	CO	62,297.39	17,304.83	1.69%
3	CO ₂	3,541,656.53	983,793.48	95.95%
4	VOC	14,751.79	4,097.72	0.40%

No	Polutan	Total Emission Rate		% kontribusi
		kg/hour	g/second	
5	PM	1,339.14	371.98	0.04%
6	SOx	22,319.03	6,199.73	0.60%

4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dilakukan *updating* atau perhitungan ulang emisi gas buang kapal di perairan Batam-Singapore menggunakan data tanggal 4 September 2018 pukul 22.00. Hasil perhitungan emisi gas buang kapal berupa NOx, CO, CO₂, VOC, SOx and PM masing-masing sebesar 48,716.48 kg/hour, 62,297.39 kg/hour, 3,541,656.53 kg/hour, 14,751.79 kg/hour, 1,339.14 kg/hour and 22,319.03 kg/hour

Hasil ini kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungan emisi gas buang pada penelitian sebelumnya seperti pada tabel 9.

Table 9 Perbandingan total NOx, CO, CO₂, VOC, SOx dan PM di perairan Batam-Singapore

No	Polutan	Total Emission Rate (g/second)		
		at 22.00 on September 4, 2018 (<i>Updating</i>)	at 06.00-08.00 September 27, 2014[2]	at 08.00 September r 2, 2011[1]
1	Nox	13,532.36	12,595.35	13,715.52
2	CO	17,304.83	25,725.19	25,461.53
3	CO ₂	983,793.48	11,832.31	11,093.00
4	VOC	4,097.72	5,973.23	5,858.22
5	PM	371.98	443.71	415.31
6	SOx	6,199.73	22,185.57	6,921.75
Jumlah kapal dalam perhitungan		1326	1269	813

Hasil perbandingan menunjukkan perbedaan cukup signifikan terhadap hasil perhitungan emisi CO₂. Hal ini terjadi karena pengaruh dua faktor utama yaitu penggunaan nilai faktor emisi CO₂ (lihat tabel 5) dan penggunaan persamaan dalam melakukan perhitungan konsumsi bahan bakar dari mesin bantu (*auxiliary engine*).



Gambar 11 Grafik perbandingan total emisi kapal

Penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut jika sistem AIS dapat dikembangkan secara real-time sehingga perhitungan emisi gas buang kapal juga bisa dihasilkan secara *real-time*.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih Penulis sampaikan kepada Ristekdikti dan Politeknik Negeri Batam karena telah mendukung penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hendra Saputra, Adi Maimum, Jaswar Koto, and Mohammad Danil Arifin, "Estimation and Distribution of Exhaust Ship Emission from Marine Traffic In the Straits Of Malacca and Singapore Using Automatic Identification System (AIS) Data," *The 8th International Conference on Numerical Analysis in Engineering*, pp. 131-142, 2013.
- [2] Hendra Saputra, Mufti Fathonah Muvariz, Spto Wiratno Satoto, and Jaswar Koto, "Estimation of Exhaust Ship Emission from Marine Traffic In the Straits of Singapore and Batam Waterways Using Automatic Identification System (AIS) Data," *Jurnal Teknologi*, vol. 77 Nomor 23, November 2015.
- [3] Ketut Buda Artana et al., "Enhancement on Methodology for Estimating Emission Distribution at Madura Strait by Integrating Automatic Identification System (AIS) and Geographic Identification System (GIS)," *Proceedings of the 3rd International Symposium of Maritime Sciences Nov. 10-14, 2014, Kobe, Japan*, November 2014.
- [4] Carlo Trozzi and Rita Vaccaro, "Methodologies For Estimating Air Pollutant Emission From Ships," Tech Report MEET RF98b 1998.
- [5] Heather M. Perez, Roger Chang, and Richard Billings, "Automatic Identification Systems (AIS) Data Use in Marine Vessel Emission Estimation," *18th Annual International Emission Inventory Conference*, 2009.
- [6] IMO, "Recommendation on performance standard for a universal shipborne Automatic Identification System (AIS)," *IMO Resolution MSC 74 (69)*, 1998.
- [7] ITU. Table of Maritime Identification Digits. [Online]. <http://www.itu.int/en/ITU-R/terrestrial/fmd/Pages/mid.aspx>
- [8] UNECE/EMEP, "Group 8: Other Mobile Sources and Machinery, in EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook third ed," *October 2002 Update (Technical Report no. 30)*.
- [9] Trika., Kobayashi, Eiichi., Wakabayashi, Nobukazu Pitana, "Estimation of Exhaust Emissions of Marine Traffic Using Automatic Identification System Data (Case Study: Madura Strait Area, Indonesia)," in *OCEANS 2010 IEEE*, Sydney, NSW, Australia, 2010.
- [10] T Ishida, "Emission of Estimate Methods of Air Pollutants and Greenhouse Gases from Ships," *J. Jap. Inst. Mar. Eng.*, 37(1), 2003.