

## Pengukuran Risiko menggunakan Rangkaian Bayesan: Aplikasi kepada Data Perlanggaran Kapal di Malaysia

(Risk Measurement using Bayesian Networks: Applications to Ship Collision Data in Malaysia)

ZAMIRA HASANAH ZAMZURI<sup>1,2,\*</sup> & ZAIDI ISA<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Jabatan Sains Matematik, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan, Malaysia*

<sup>2</sup>*Pusat Pemodelan dan Analisis Data, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan, Malaysia*

*Diserahkan: 13 Mac 2022/Diterima: 14 April 2022*

### ABSTRAK

Mengenal pasti faktor berbahaya yang mengancam keselamatan adalah penting agar tindakan dapat dirancang untuk menangani akibat jika berlakunya hazard tersebut. Proses penecaman tersebut memerlukan pengukuran dan komputasi khusus dengan kebarangkalian dan keparahan kejadian tersebut diperlukan. Dalam kajian ini, pendekatan rangkaian Bayesan dilaksanakan untuk menilai, mengenal pasti dan kemudiannya memberi pangkat kepada faktor yang menyumbang kepada berlakunya perlanggaran kapal. Menerusi penggabungan maklumat daripada pandangan pakar dan data lepas, satu rangkaian Bayesan dibina untuk mentafsir kebarangkalian berlakunya perlanggaran diberi pemboleh ubah yang dicerap. Tiga jenis hazard dipertimbangkan dalam kajian ini iaitu teknikal, semula jadi dan kesilapan manusia. Peningkatan dalam kebarangkalian berlakunya perlanggaran kemudiannya dihitung dengan mensyaratkan kepada aras dalam pemboleh ubah dicerap. Tiga faktor pertama yang menyumbang kepada berlakunya perlanggaran kapal adalah kegagalan major dalam sistem komunikasi, kebolehan terjejas tinggi dan ketiadaan pemandu sebagai penasihat pelayaran. Penemuan ini membantu dalam menyerlahkan potensi major ditawarkan oleh rangkaian Bayesan bagi analisis risiko dan penghitungan kebarangkalian. Malahan, kajian ini menawarkan pemahaman yang lebih mendalam kepada pengamal dalam bidang ini untuk merancang atau membina strategi tindakan yang diperlukan bagi mengelakkan berlakunya perlanggaran. Maklumat ini juga penting untuk menilai keselamatan sesuatu kapal dalam usaha mengurangkan potensi suatu perlanggaran tersebut berlaku.

Kata kunci: Bayesan; perlanggaran kapal; rangkaian; risiko

### ABSTRACT

Identifying hazardous factors that threaten safety is important so that actions can be planned to address the consequences of the hazard. The identification process requires specific measurements and computations, for which the probability and severity of the event are required. In this study, the Bayesian network approach is implemented to evaluate, identify and then rank the factors that contribute to the occurrence of ship collisions. Through a combination of information from expert views and past data, a Bayesian network was constructed to interpret the probability of a collision given the observed variables. Three types of hazards are considered in this study namely technical, natural, and human error. The increase in the probability of a collision is then calculated by conditional to the level in the observed variable. The first three factors that contribute to the occurrence of shipwrecks are major failures in communication systems, high impaired abilities and the absence of a driver as a navigational advisor. These findings help in highlighting the major potentials offered by the Bayesian network for risk analysis and probability calculations. In fact, this study offers a deeper understanding to practitioners in this field to plan or build the necessary action strategies to avoid the occurrence of collisions. This information is also important in assessing the safety of a ship in an effort to reduce the potential for a collision to occur.

Keywords: Bayesian; network; risk; ship collision

### PENGENALAN

Proses penilaian risiko adalah amat penting dalam membantu pembuat keputusan membuat sesuatu keputusan dengan bermaklumat (Razak & Ismail 2019;

Zamzuri & Gwee 2020). Dalam persekitaran marin, kebiasaannya prosedur penilaian risiko dilaksanakan secara kualitatif dengan mengumpulkan maklumat daripada pakar bidang. Setelah sekian lama, terdapat

keperluan mendesak untuk penilaian risiko kuantitatif dilaksanakan, yang mana maklumat berangka didapati sebagai penting dan sangat membantu pembuat polisi (Chai et al. 2017). Menerusi data lampau, corak dan hubungan dapat dikaji dalam meramalkan keberlakuan aktiviti berbahaya pada masa hadapan. Peranan proses penilaian risiko bukan hanya untuk meramal masa hadapan akan tetapi untuk mengumpul lebih maklumat berkenaan faktor penyumbang kejadian berbahaya. Mengenal pasti dan mengukur sumbangan setiap faktor kepada kejadian pelanggaran akan membantu dalam merangka pelan tindakan yang bermatlamatkan pengelakan dan pengurangan risiko dalam masa terdekat. Berdasarkan Todinov (2019), teknik dalam menangani risiko boleh dikelaskan kepada pendekatan stokastik dan berketentuan, yang mana pemisahan antara dua pendekatan ini telah ditunjukkan keberkesanannya dalam pengurusan risiko.

Risiko diukur menerusi dua komponen, frekuensi dan keparahan. Sesuatu kejadian dengan kebolehdajadian yang tinggi untuk berlaku dan keparahan yang dahsyat dikelaskan sebagai sangat berisiko. Kebarangkalian didefinisikan sebagai peluang untuk berlakunya sesuatu kejadian, dalam kajian ini, kejadian pelanggaran kapal. Berdasarkan maklumat tertentu, kebarangkalian berlakunya suatu kejadian berbahaya boleh dihitung. Ini dipanggil sebagai kebarangkalian bersyarat yang didefinisikan dalam teorem Bayes (Weber et al. 2012). Antara pendekatan yang diaplikasikan dalam penilaian risiko pelanggaran kapal adalah Proses Hirarki Analitik (PHA) sebagaimana dalam Karahalios (2014) dan kaedah pokok gagal. Kaedah pokok gagal digunakan secara meluas dalam analisis risiko pelbagai bidang; sebagai contoh pelanggaran tanaman kima (Yazdi et al. 2017), saluran paip minyak dan gas asli (Badida et al. 2019), keselamatan siber (Gusmao et al. 2018) dan pengurusan air buangan berjangkit (Makajic-Nikolica et al. 2016). Walau bagaimanapun, sebagaimana yang dibincangkan dalam Khakzad et al. (2011), teknik ini sangat terhad berbanding pendekatan rangkaian Bayes. Kelebihan rangkaian Bayes yang tidak dapat dinafikan adalah kebergantungan antara kejadian boleh dihitung secara jelas dan terperinci. Tambahan pula, rangkaian Bayes membenarkan pengemaskinian maklumat kepada kebarangkalian dan boleh menangani ketidakpastian dalam data. Maka, kajian ini melaksanakan rangkaian Bayes dengan tujuan untuk mengukur risiko kejadian berbahaya, iaitu pelanggaran kapal.

Dalam persekitaran marin, frekuensi atau kebarangkalian berlakunya sesuatu kajian dihitung sebagai hasil darab dua jenis kebarangkalian, iaitu

sebab dan geometri (Chen et al. 2019). Butiran lanjut bagi analisis kebarangkalian bersebab dan bergeometri telah dibincangkan dalam Chen et al. (2019). Kajian ini memfokuskan kepada hubungan sebab yang wujud antara faktor penyumbang kejadian berbahaya. Matlamatnya adalah untuk mengenal pasti, mengukur dan seterusnya memberi pangkat kepada faktor penyumbang ini berdasarkan peningkatan dalam risiko yang disumbangkan oleh setiap faktor secara individu. Rangkaian Bayes disuaikan untuk membina hubungan dan seterusnya menghitung kebarangkalian bersyarat bagi kejadian berbahaya diberi maklumat faktor penyumbang tersebut.

Kajian lepas berkenaan rangkaian Bayes yang diaplikasikan kepada proses penilaian risiko marin telah diketengahkan dalam Hanninen dan Kujala (2012), Martins dan Maurana (2009), Otto et al. (2002) dan Zhang et al. (2016). Luxhoj (2015) menggunakan rangkaian Bayes dalam penilaian risiko keselamatan pesawat pengangkut. Mereka mendapati pendekatan ini bukan sahaja untuk penghitungan kebarangkalian malahan berguna untuk merancang pelan tindakan pengurusan risiko. Sungguhpun begitu, kajian bagi senario Malaysia masih lagi terhad. Haron (2015) menggunakan lengkung F-N untuk menjangka risiko pelanggaran kapal di Malaysia. Manakala Zaman et al. (2014) melihat kepada aplikasi model kabur dalam meramal keberlakuan pelanggaran kapal di selat Melaka. Kedua-dua kajian tidak memberi penumpuan kepada hubungan sebab antara pemboleh ubah. Maka, kajian ini berhasrat untuk memenuhi jurang tersebut dengan menggambarkan bagaimana aplikasi rangkaian Bayes kepada penilaian risiko marin di Malaysia dapat dilaksanakan secara kuantitatif. Selain itu, kajian ini menghuraikan penghitungan kebarangkalian dalam mengenal pasti faktor paling berisiko menggunakan pangkat yang diberi berdasarkan peningkatan dalam nilai kebarangkalian.

#### BAHAN DAN KAEDAH

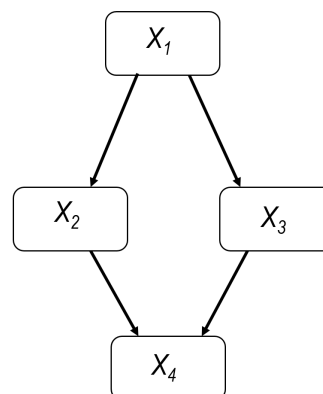
Definisi dan konsep dalam penilaian risiko marin secara amnya mengandungi dua bahagian, kebarangkalian dan akibat. Secara matematikanya, risiko dihitung sebagai hasil darab kebarangkalian berlakunya suatu peristiwa dan akibat. Kebarangkalian berlaku mengukur kebolehdajadian suatu peristiwa untuk berlaku manakala akibat mengukur keparahan peristiwa tersebut (Champ et al. 2016). Sebagai contoh, pelanggaran maut adalah lebih parah daripada pelanggaran yang hanya menyebabkan kerosakan kenderaan. Jika kebolehdajadian

bagi kedua-dua peristiwa ini adalah sama, maka dapat disimpulkan bahawa pelanggaran maut adalah lebih berisiko daripada pelanggaran kerosakan sahaja. Konsep yang sama diterapkan dalam persekitaran marin yang mana kebarangkalian berlaku diukur sebagai hasil darab dua jenis kebarangkalian iaitu penyebab dan geometri. Contoh faktor penyebab bagi pelanggaran kapal adalah kurangnya latihan kepada kru kapal serta keadaan arus air. Manakala faktor geometri pula merujuk kepada sifat geometri suatu kapal dan laluan air, sebagai contoh panjang dan lebar kapal. Kajian ini akan hanya memfokuskan kepada kebarangkalian penyebab pelanggaran kapal menggunakan rangkaian Bayesian.

Kajian lepas menggunakan satu nilai malar sebagai anggaran kepada kebarangkalian penyebab, yang mana merupakan anggaran terus daripada nisbah bilangan pelanggaran kepada bilangan kapal yang menggunakan laluan tersebut, iaitu sekitar  $3E-4$  (Macduff 1974). Fowler dan Sogard (2000) menggunakan analisis pokok gagal untuk menentukan hubungan penyebab antara pemboleh ubah. Otto et al. (2011) kemudiannya menggunakan rangkaian Bayesian bagi mendapatkan hubungan penyebab dan memasukkan maklumat daripada pakar bidang. Pelbagai kajian terkini yang mengkaji hubungan antara pemboleh ubah yang menyebabkan peristiwa berbahaya dalam persekitaran marin sebagaimana dalam Luxhoj (2015), Martins dan Maturana (2009) dan Zhang et al. (2016).

#### RANGKAIAN BAYESAN

Rangkaian Bayesian merupakan perwakilan taburan kebarangkalian bercantum bagi pemboleh ubah rawak dengan kemungkinan hubungan penyebab. Ia dikategorikan sebagai Graf Berkitar Terarah (GBT), yang mana sifatnya membenarkan suatu struktur ditemui secara cekap tanpa penggelungan hubungan kitaran. Dalam suatu rangkaian, terdapat nod yang mewakili pemboleh ubah rawak, hujung antara pasangan nod mewakili perhubungannya dan taburan kebarangkalian bersyarat bagi setiap nod. Objektif utama kaedah ini adalah untuk memodelkan kebarangkalian bersyarat posterior bagi suatu peristiwa selepas mencerap bukti baharu. Rajah 1 menunjukkan satu contoh bagi rangkaian Bayesian, yang mana setiap pemboleh ubah,  $X_i$  diwakili oleh nod dan hubungan antara mereka diberikan oleh hujung. Sebagai contoh,  $X_1$  menyebabkan peristiwa  $X_2$  dan  $X_3$ , manakala dua pemboleh ubah ini mengimplikasikan  $X_4$ .



RAJAH 1. Contoh rangkaian Bayesian dengan empat pemboleh ubah diwakili oleh nod

Secara tipikalnya, langkah yang terlibat dalam pembinaan rangkaian Bayesian adalah seperti berikut (Xin & Wen 2017):

1. Penentuan struktur rangkaian: Pemboleh ubah terlibat dikenal pasti peranan dan hubungannya berdasarkan pandangan pakar atau menggunakan alKhawarizmi penskoran. Tujuannya adalah untuk mengenal pasti pemboleh ubah induk. Kajian ini menggunakan pandangan pakar bagi langkah ini.
2. Penentuan kebarangkalian bersyarat bagi setiap nod: Kebarangkalian cantuman bagi peristiwa dibina berdasarkan rantaian kebarangkalian bersyarat dan marginal. Kebarangkalian bersyarat adalah yang akan dihitung dan dikenali sebagai posterior manakala kebarangkalian marginal dikenali sebagai prior. Maklumat prior boleh diperolehi daripada pandangan pakar atau dihitung daripada data atau kedua-duanya sekali.

Rangkaian Bayesian turut dikenali dengan Rangkaian Kepercayaan Bayesian yang mana kepercayaan tentang sesuatu peristiwa boleh dikemaskini apabila maklumat baharu diperolehi (Korb & Nicholson 2003). Kepercayaan ini dibentangkan dalam bentuk pernyataan sebagai contoh 'Kemalangan berlaku'. Pernyataan ini memberikan maklumat darjah kepercayaan dalam bentuk numerik dalam julat 0 kepada 1 yang membawa kepada konsep kebarangkalian. Merujuk kepada contoh yang sama,  $K_b$  (Kemalangan berlaku) = 0.01. Kebarangkalian ini dikenali sebagai maklumat prior yang tidak bersyarat kepada apa-apa perkara lain. Maka, apabila kita ingin membentangkan impak bukti kepada kepercayaan tersebut, kebarangkalian bersyarat diperlukan. Merujuk

kepada contoh yang sama, jika pernyataan kepercayaan kita adalah 'Kemalangan berlaku' dan bukti yang ada adalah 'Kegagalan sistem kawalan', maka kebarangkalian yang diperlukan di sini adalah  $Kb$  (Kemalangan berlaku | Kegagalan sistem kawalan), yang mana turut dikenali sebagai posterior. Ini merupakan Teorem Bayes (Neapolitan & Jiang 2007), yang mana hubungan antara hipotesis ( $H$ ) dan bukti ( $B$ ) dapat diwakili dengan persamaan berikut:

$$P(H|B) = \frac{P(B|H)P(H)}{P(B)} \quad (1)$$

yang mana kebarangkalian bersyarat  $P(B)$  merupakan posterior iaitu kepercayaan baharu atau yang dikemaskini berdasarkan bukti manakala  $P(H)$  merupakan kepercayaan awal atau lebih dikenali sebagai prior. Pentaabiran daripada kebarangkalian bersyarat ini boleh digunakan dalam dua arah iaitu:

- 1) Pentaabiran diagnostik (daripada akibat kepada sebab), contohnya  $Kb$  (Kegagalan sistem kawalan | Kemalangan berlaku)
- 2) Pentaabiran ramalan (daripada sebab kepada akibat), contohnya  $Kb$  (Kemalangan berlaku | Kegagalan sistem kawalan)

Menurut Friedman dan Koller (2003), kerangka rangkaian Bayes dapat dijelaskan seperti berikut. Pertimbangan permasalahan menganalisis taburan bagi set pemboleh ubah rawak  $X_1, X_2, \dots, X_{i-1}$  berdasarkan data dicerap  $D$ . Bagi rangkaian Bayes  $G$ , kebarangkalian prior,  $Kb(G)$  perlu ditakrifkan yang mana maklumat prior ini dikemaskini menggunakan kebersyaratan Bayes bagi mendapatkan taburan posterior  $Kb(G|D)$ . Terdapat dua komponen dalam rangkaian iaitu struktur,  $G$  dan nilai bagi parameter dalam rangkaian  $\theta_G$ . Berdasarkan teorem Bayes, hubungan antara posterior ( $Po$ ), kebolehjadian ( $K$ ) dan prior ( $Pr$ ) adalah

$$Po \propto K \times Pr \quad (2)$$

yang mana dalam kerangka rangkaian Bayes merupakan

$$KB(G|D) \propto Kb(D|G) Kb(G) \quad (3)$$

Kebolehjadian marginal bagi data diberi  $G$ ,  $Kb(D|G)$  adalah

$$Kb(D|G) = \int Kb(D|G, \theta_G) Kb(\theta_G|G) d\theta_G \quad (4)$$

KEBARANGKALIAN BERSYARAT DAN PEMFAKTORAN  
Berdasarkan hukum rantaian dalam kebarangkalian,

kebarangkalian bersyarat boleh dieksploitasi seperti dalam persamaan (4).

$$Kb(X_1, X_2) = Kb(X_1)Kb(X_2|X_1)$$

$$Kb(X_1, X_2, X_3) = Kb(X_1)Kb(X_2|X_1)Kb(X_3|X_2, X_1)$$

...

$$Kb(X_1, X_2, \dots, X_n) = Kb(X_1)Kb(X_2|X_1) \dots Kb(X_n|X_1, X_2, \dots, X_{n-1})$$

$$= \prod_{i=1}^n Kb(X_i|X_1, X_2, \dots, X_{i-1})$$

(5)

Takrifkan domain maklumat sebagai subset  $Induk(X_i) \in Kb(X_i|X_1, X_2, \dots, X_{i-1})$  yang mana

$$Kb(X_1, X_2, \dots, X_n) = \prod_{i=1}^n Kb(X_i|Induk(X_i)) \quad (6)$$

Persamaan 6 merupakan taburan cantuman pemboleh ubah dalam bentuk kebarangkalian bersyarat. Dalam rangkaian Bayes, hubungan ketidakbersandaran bersyarat diterangkan dalam bentuk graf yang mana vektor  $X$  adalah senarai pemboleh ubah dan  $Induk(X_i)$  mewakili nod yang menunjuk ke arah  $X_i$ . Secara amnya, rangkaian Bayes merupakan satu graf berkisar terarah yang mana pemboleh ubah diwakili oleh nod dan dihubungkan menerusi kebarangkalian bersyarat.

#### DATA

Memandangkan data yang ada adalah agak terhad, kajian ini menggabungkan pandangan pakar dengan data yang direkodkan oleh Jabatan Marin Malaysia. Berdasarkan rekod Jabatan Marin Malaysia, statistik bilangan pelanggaran dan bilangan kapal yang menggunakan laluan air diperoleh bagi tahun 2017. Satu kelebihan bagi rangkaian Bayes adalah pandangan pakar dapat diintegrasikan bersama data lampau dapat dimasukkan ke dalam analisis sebagai maklumat prior. Maka, bagi kajian ini, pandangan pakar diperoleh daripada 23 orang pakar marin. Pakar ini mengisi borang yang menyenaraikan faktor yang berpotensi menyumbang kepada berlakunya pelanggaran. Kemudian, kebolehjadian suatu pelanggaran berlaku dalam satu pelayaran bagi satu tahun dianggarkan berdasarkan pandangan pakar ini. Memandangkan tidak semua pakar mempunyai latar belakang kuantitatif, soalan pada borang maklumat perlulah dirangka dalam bentuk yang lebih mudah difahami (Constantinou et al. 2016). Dalam kajian ini, contoh soalan yang diberikan kepada pakar adalah seperti berikut: 1. Berapa kerapkah pelanggaran berlaku dalam 10 pelayaran? 2. Berapa

kerapkah pelanggaran yang berlaku disebabkan oleh kegagalan sistem komunikasi? 3. Berapa kerapkah pelanggaran yang berlaku disebabkan oleh kekurangan latihan kru kapal?

Diandaikan soalan 1 dan 2 boleh dijawab berdasarkan data lampau yang dicerap namun tidak bagi soalan 3 kerana tiada cerapan data bagi soalan tersebut. Maka,

pakar akan berbincang berdasarkan pengalaman dan pengetahuan masing-masing untuk meletakkan nilai frekuensi pelanggaran bagi soalan 3 tersebut. Nilai frekuensi ini kemudiannya dihitung bagi mendapatkan nilai kebarangkalian peristiwa pelanggaran tersebut. Jadual 1 menyenaraikan butiran bagi pakar yang terlibat dalam sesi ini berdasarkan latar belakang mereka.

JADUAL 1. Butiran latar belakang pakar

Bilangan pakar	Bidang kepakaran
10	peringkat pengurusan di jabatan marin
7	teknikal (keselamatan pelayaran, pemandu & jurutera)
2	analisis penyelidikan
4	Perikanan

Menerusi sesi ini, tiga jenis hazard dikenal pasti, iaitu teknikal, semula jadi dan kesilapan manusia. Senarai penuh faktor bagi setiap jenis hazard diberikan dalam Jadual 2. Akibat daripada pelanggaran diukur menerusi

dua peristiwa lain iaitu tumpahan minyak dan bahan merbahaya, serta kecederaan dan kematian manusia. Akibat ini dikategorikan kepada lima tahap keparahan iaitu dahsyat, parah, sederhana, minor dan rendah. Butiran bagi tahap keparahan bagi dua akibat ini dirumuskan dalam Jadual 3.

JADUAL 2. Senarai faktor bagi setiap jenis hazard

Jenis hazard	Bilangan faktor	Faktor
Teknikal	11	bantuan tunda, kegagalan mekanikal, jarak ke pantai, kegagalan sistem komunikasi, kegagalan sistem pengemudian, pemanduan, perkhidmatan trafik kapal, kegagalan peralatan tambatan, alat bantu untuk mengemudi, reka bentuk kapal, kegagalan sistem penggera
Semula jadi	9	angin, ombak, keadaan keterlihatan, radius selekoh saluran, <i>under keel clearance</i> , objek terapung, hazard pelayaran belum teroka, saluran terhad, arus
Kesilapan manusia	6	kelayakan latihan, batasan bahasa, keletihan, keupayaan terjejas, kekurangan sumber manusia, kegagalan organisasi

JADUAL 3. Senarai akibat dan tahap keparahan

Tahap keparahan	Tumpahan minyak dan bahan merbahaya	Kecederaan dan kematian manusia
rendah	tidak bererti	tiada kecederaan
minor	Kecil	kecederaan kecil
sedehana	Setempat	kecederaan sederhana
parah	major dengan kesan masa sederhana atau panjang	satu kematian atau beberapa kecederaan parah
dahsyat	parah dengan kesan jangka panjang dan kekal	beberapa kematian

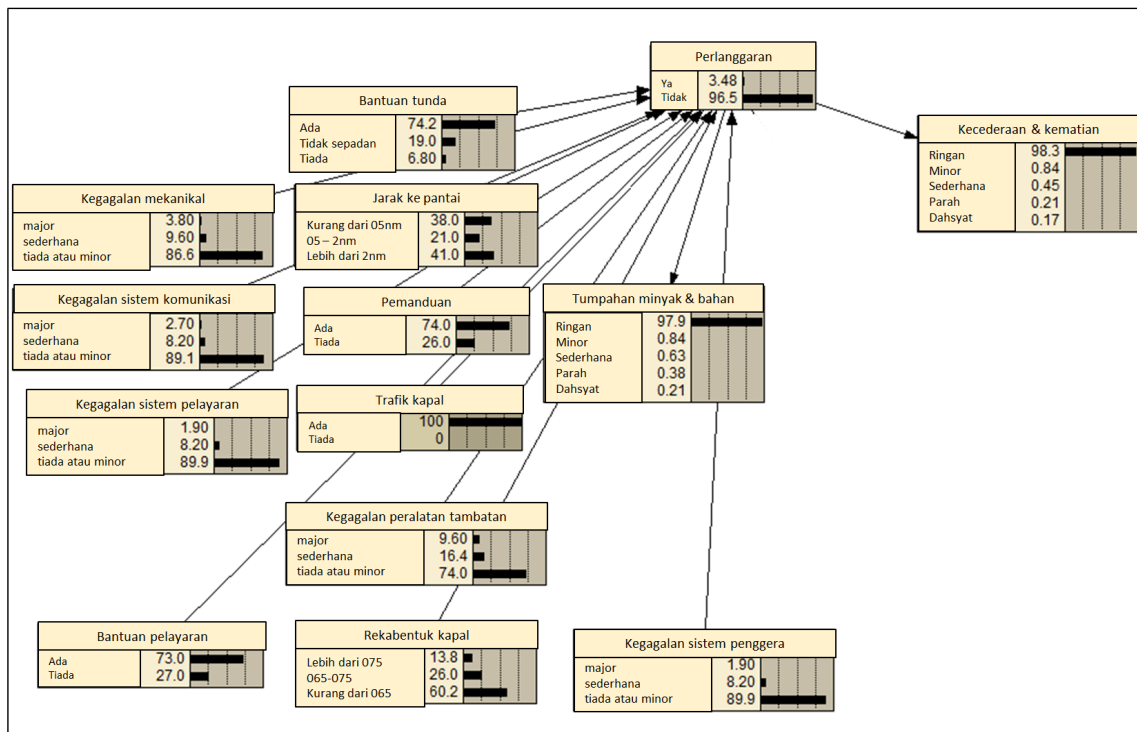
HASIL KAJIAN

Dalam bahagian ini, rangkaian Bayes yang disesuaikan kepada data pelanggaran kapal dipersembahkan bagi ketiga-tiga jenis hazard. Nilai kebarangkalian berlakunya pelanggaran dan akibat daripadanya turut dihitung. Kemudian, faktor yang menyumbang diberi kedudukan berdasarkan kepada kebarangkalian penyebab. Peningkatan dalam kebarangkalian kemudiannya dihitung bagi menilai sumbangan marginal faktor-faktor ini.

kepada tiga jenis hazard. Rajah 2 membentangkan rangkaian bagi jenis hazard teknikal. Anak panah penunjuk daripada nod faktor berpotensi ke arah nod pelanggaran membawa maksud bahawa faktor ini menyebabkan berlakunya pelanggaran. Dapat juga dicerap bahawa wujudnya anak panah daripada nod pelanggaran kepada nod akibat. Ini bermaksud bahawa pelanggaran tersebut mengakibatkan kesan dalam rangkaian tersebut. Berdasarkan tiga rangkaian yang disesuaikan, kebarangkalian sesuatu pelanggaran berlaku berdasarkan kepada impak faktor tahunan dapat dianggar. Jadual 4 merumuskan penemuan ini.

RANGKAIAN BAGI PERLANGGARAN KAPAL BERDASARKAN TIGA JENIS HAZARD

Tiga rangkaian disesuaikan kepada data berdasarkan



RAJAH 2. Rangkaian Bayes bagi pelanggaran kapal dengan faktor penyumbang jenis teknikal

JADUAL 4. Kebarangkalian bersyarat pelanggaran diberi jenis hazard

Jenis Hazard	Kb(Perlanggaran = Ya   Hazard) (%)
Teknikal	3.48
Semula jadi	4.38
Kesilapan manusia	2.00



SEMAKAN DIAGNOSTIK RANGKAIAN YANG DISUAIKAN  
Langkah penting yang perlu dilaksanakan selepas penyuaian rangkaian adalah semakan diagnostik untuk menilai kebagusan penyuaian rangkaian tersebut terhadap data. Terdapat tiga ukuran yang digunakan bagi tujuan ini iaitu: 1) Kerugian logaritma, 2) Kerugian kuadratik (Skor Brier) dan 3) Pulangan berbentuk sfera.

Perincian lanjut bagi ukuran ini boleh dirujuk kepada Dharmarathne et al. (2021), Marcot (2012) dan Zhang (2017). Tafsiran bagi penyuaian yang memuaskan adalah berjalat 0 – 0.25 bagi ukuran (1) dan (2) dan 0.7 - 1 bagi ukuran berbentuk (3). Berdasarkan Jadual 5, dapat disimpulkan bahawa ketiga-tiga rangkaian yang disuaikan adalah memuaskan.

JADUAL 5. Ukuran kebagusan penyuaian rangkaian

Rangkaian	Kerugian logaritma	Kerugian kuadratik	Pulangan sfera
Teknikal	0.194	0.109	0.892
Semula jadi	0.221	0.142	0.829
Kesilapan manusia	0.178	0.110	0.874

#### KEDUDUKAN FAKTOR BERHAZARD

Berdasarkan Jadual 4, hazard semula jadi merupakan jenis hazard dengan kebarangkalian yang tertinggi. Ini bermaksud, kebolehdjian sesuatu perlanggaran kapal berlaku disebabkan oleh faktor penyumbang daripada jenis semula jadi adalah lebih tinggi berbanding dua jenis hazard lagi. Seterusnya, kita akan melihat dengan lebih terperinci setiap faktor penyumbang dalam setiap jenis hazard. Kebarangkalian bersyarat perlanggaran diberi maklumat faktor individu akan dihitung. Jadual 6 - 8 menyenaraikan keadaan sesuatu faktor yang menyumbang kepada kebolehdjian yang lebih tinggi untuk berlakunya

sesuatu perlanggaran. Sebagai contoh, dalam Jadual 6, dinyatakan bahawa terdapat kegagalan sistem komunikasi dalam kapal tersebut, kebarangkalian untuk berlakunya perlanggaran meningkat kepada 6.47%. Ini merupakan faktor penyumbang dengan kebarangkalian terjadinya perlanggaran yang tertinggi. Kemudian, faktor ini diberi kedudukan berdasarkan nilai kebarangkalian. Merujuk kepada Jadual 7 dan 8, dapat dikenal pasti bahawa arus melebihi 3 knots (kts) berada pada kedudukan pertama bagi hazard semula jadi dengan nilai kebarangkalian 4.69%. Manakala bagi hazard kesilapan manusia, faktor yang berada pada kedudukan pertama adalah keupayaan terjejas dengan nilai kebarangkalian 3.53%.

JADUAL 6. Kedudukan faktor hazard teknikal berdasarkan kebarangkalian bersyarat

Faktor	Keadaan faktor	Kb (%)	Kedudukan
bantuan tunda	Tiada	4.23	7
	tidak sepadan	3.86	9
kegagalan mekanikal	Major	4.32	5
	Sederhana	3.78	11
kegagalan sistem komunikasi	Major	6.48	1
	Sederhana	4.57	3
kegagalan sistem pengemudian	Major	4.57	3
	Sederhana	4.30	6
bantuan pengemudian	Tiada	4.15	8
	pemanduan	4.90	2
kegagalan peralatan tambatan	Major	3.63	14
	Sederhana	3.54	18
kegagalan sistem penggera	Major	3.66	13
	Sederhana	3.56	16
jarak ke pantai	kurang dari 0.5NM	3.69	12
	0.5-2NM	3.60	15
reka bentuk kapal	lebih dari 0.75	3.83	10
	0.65-0.75	3.56	16

JADUAL 7. Kedudukan faktor bagi hazard semula jadi berdasarkan kebarangkalian bersyarat

Faktor	Kedudukan faktor	Kb (%)	Kedudukan
Angin	lebih dari 30	4.58	4
Ombak	lebih 3m	4.48	6
keadaan keterlihatan	2-5NM	4.40	8
radius selekoh saluran	< 200	4.52	5
objek terabung	Tinggi	4.47	7
<i>Underkeel</i>	< 2m	4.65	2
saluran terhad	< 0.2	4.64	3
Arus	> 3 kts	4.69	1

JADUAL 8. Kedudukan faktor bagi hazard kesilapan manusia berdasarkan kebarangkalian bersyarat

Faktor	Keadaan faktor	Kb (%)	Kedudukan
kelayakan/latihan	tidak mencukupi	4.23	4
batasan bahasa	Major	3.86	5
keletihan	Tinggi	4.32	3
keupayaan terjejas	Tinggi	3.78	6
kekurangan sumber manusia	Major	6.48	1
kegagalan organisasi	Major	4.57	2

#### PERBINCANGAN

Menerusi rangkaian Bayes yang disesuaikan kepada data, faktor berhazard yang menyumbang kepada berlakunya pelanggaran kapal dapat dikenal pasti. Langkah ini sangat penting dalam proses penilaian risiko yang mana sumber masalah atau faktor penyumbang mesti dikenal pasti bagi merangka pelan tindakan dan susulan yang meminimumkan risiko tersebut. Kedudukan faktor berdasarkan nilai kebarangkalian bersyarat dan peningkatan dalam kebarangkalian menyediakan satu tafsiran pantas yang membantu pengamal bidang ini untuk memfokuskan kepada aspek dan unsur yang perlu ditambah baik.

Sebelum sesebuah kapal dibenarkan untuk belayar, keadaan kapal mesti diperiksa secara menyeluruh. Faktor semula jadi juga perlu dipertimbangkan memandangkan ia mampu untuk mempengaruhi kebolehdjadian sesuatu pelanggaran. Tanpa penilaian risiko secara kuantitatif, keputusan dibuat hanya berdasarkan pandangan dan

pengalaman pakar. Walau bagaimanapun, dengan bantuan penilaian risiko berkuantitatif terutamanya rangkaian Bayes, kebarangkalian penyebab dapat dihitung dan seterusnya digunakan dalam proses membuat keputusan bermaklumat. Sebagai contoh, pelayaran dengan arus melebihi 3 kts mestilah dielakkan memandangkan ini adalah faktor penyumbang pada kedudukan pertama dalam kategori hazard semula jadi. Selain itu, penemuan analisis turut menyimpulkan bahawa sistem komunikasi merupakan perkara pertama yang perlu diperiksa sebelum sesebuah kapal dibenarkan belayar. Ini adalah berdasarkan penemuan bahawa kegagalan major dalam sistem komunikasi merupakan faktor penyumbang kepada pelanggaran dengan nilai kebarangkalian tinggi.

Penilaian terhadap kebarangkalian penyebab berdasarkan jenis hazard merumuskan bahawa hazard semula jadi merupakan faktor penyebab utama bagi peristiwa pelanggaran kapal. Kebarangkalian penyebab dalam Jadual 4 adalah berdasarkan keadaan biasa



untuk semua faktor secara tahunan. Penyuaiian ketiga-tiga rangkaian berdasarkan jenis hazard ini didapati memuaskan seperti dalam Jadual 5. Kemudian, penilaian terperinci dijalankan, yang mana kebarangkalian dihitung dengan maklumat faktor individu dicerap. Ini membawa kepada kedudukan faktor berdasarkan jenis hazard sebagaimana yang ditunjukkan dalam Jadual 6 - 8. Maklumat lanjut dapat ditafsir dengan menghitung peningkatan dalam kebarangkalian penyebab.

#### KESIMPULAN

Kajian ini bertujuan untuk menggambarkan aplikasi rangkaian Bayes sebagai alat penilaian risiko secara kuantitatif dalam persekitaran marin. Memfokuskan kepada pelanggaran kapal sebagai peristiwa kajian, maklumat daripada pandangan pakar dan rekod data diintegrasikan bagi membina rangkaian dan seterusnya menghitung kebarangkalian bersyarat. Tiga jenis hazard dipertimbangkan: teknikal, semula jadi dan kesilapan manusia. Hazard semula jadi mempunyai kebarangkalian tertinggi berlakunya pelanggaran berbanding dua jenis hazard lagi iaitu teknikal dan kesilapan manusia. Melihat kepada kebarangkalian dihitung dan kedudukan faktor, dapat dikenal pasti bahawa sepuluh faktor utama penyumbang kepada pelanggaran kapal didominasi oleh faktor teknikal dan kesilapan manusia. Dapat disimpulkan bahawa rangkaian Bayes merupakan alat berguna dalam penilaian risiko terutamanya bagi persekitaran marin memandangkan kewujudan rekod data adalah terhad dan keperluan kepada pemasukan pandangan pakar bidang. Pendekatan ini menawarkan kelebihan yang tidak dapat disangkal bagi proses penilaian risiko, terutamanya bagi peristiwa berhazard dalam persekitaran marin, seperti pelanggaran kapal.

#### PENGHARGAAN

Pengarang berterima kasih kepada Universiti Kebangsaan Malaysia dan Spartan Maritime Shipcare untuk sumbangan bantuan teknikal dan sumber bahan yang digunakan dalam kajian ini.

#### RUJUKAN

- Badida, P., Balasubramaniam, Y. & Jayaprakash, J. 2019. Risk evaluation of oil and natural gas pipelines due to natural hazards using fuzzy fault tree analysis. *J. Nat. Gas Sci. Eng.* 66: 284-292.
- Chai, T., Weng, J. & Xiong, D. 2017. Development of a quantitative risk assessment model for ship collisions in fairways. *Safety Science* 91: 71-83.
- Champ, P.A. & Brenkert-Smith, H. 2016. Is seeing believing? Perceptions of wildfire risk over time. *Risk Analysis* 36(4): 816-830.
- Chen, S., Chai, L., Xu, K., Wei, Y., Rong, Z. & Wan, W. 2019. Estimation of the occurrence probability of extreme geomagnetic storms by applying extreme value theory to Aa index. *JGR Space Physics* 124: 9943-9952.
- Chen, P., Huang, Y., Mou, J. & van Gelder, P.H.A.J.M. 2019. Probabilistic risk analysis for ship-ship collision: State-of-the-art. *Safety Science* 117: 108-122.
- Constantinou, A.C., Fenton, N.E. & Neil, M. 2016. Integrating expert knowledge with data in Bayesian networks: Preserving data-driven expectations when the expert variables remain unobserved. *Expert System with Applications* 56: 197-208.
- Dharmarathne, G., Hanea, A. & Robinson, A.P. 2021. Improving the computation of Brier scores for evaluating expert-elicited judgement. *Frontiers in Applied Mathematics and Statistics*. <https://doi.org/10.3389/fams.2021.669546>
- Fowler, T.G. & Sjørgård, E. 2000. Modeling ship transportation risk. *Risk Analysis* 20(2): 225-244.
- Friedman, N. & Koller, D. 2003. Being Bayesian about network structure. A Bayesian approach to structure discovery in Bayesian networks. *Machine Learning* 50: 95-125.
- Gusmao, A.P.H., Silva, M.M., Poletto, T., Silve, L.C. & Costa, A.P.C.S. 2018. Cybersecurity risk analysis model using fault tree analysis and fuzzy decision theory. *International Journal of Information Management* 43: 248-260.
- Hänninen, M. & Kujala, K. 2012. Influences of variables on ship collision probability in a Bayesian belief network model. *Reliability Engineering* 102: 27-40.
- Haron, S.J. 2015. Analysis of marine incidents in Malaysia. Master Thesis, Universiti Teknologi Malaysia (UTM) (Tidak diterbitkan).
- Karahalios, H. 2014. The contribution of risk management in ship management: The case of ship collision. *Safety Science* 63: 104-114. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2013.11.004>.
- Khakzad, N., Khan, F. & Amyotte, P. 2011. Safety analysis in process facilities: Comparison of fault tree and Bayesian network approaches. *Reliability Engineering & System Safety* 96(8): 925-932.
- Korb, K. & Nicholson, A. 2003. *Bayesian Artificial Intelligence*. Boca Raton: CRC Press.
- Luxhøj, J.T. 2015. A conceptual Object-Oriented Bayesian Network (OOBN) for modeling aircraft carrier-based UAS safety risk. *Journal of Risk Research* 18(10): 1230-1258.
- Macduff, T. 1974. The probability of vessel collisions. *Ocean Industry* 9(9): 144-148.
- Makajic-Nikolica, D., Petrovica, N., Cirovica, M., Vujosevica, M. & Presburger-Ulnikovic, V. 2016. The model of risk assessment of greywater discharges from the Danube River ships. *Journal of Risk Research* 19(4): 496-514.
- Marcot, B.G. 2012. Metrics for evaluating performance and uncertainty of Bayesian network models. *Ecological Modelling* 230: 50-62.

- Martins, M.R. & Maturana, M.C. 2009. The application of the Bayesian networks in the human reliability analysis. *Proceedings of the ASME 2009 International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, Lake Buena Vista, FL, 13-19 November. New York: IEEE.
- Neapolitan, R.E. & Jiang, X. 2007. *Probabilistic Methods for Financial and Marketing Informatics*. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers.
- Otto, S., Pedersen, P.T., Samuelides, M. & Sames, P.C. 2002. Elements of risk analysis for collision and grounding of a RoRo passenger ferry. *Marine Structures* 15(4): 461-474.
- Razak, R.A. & Ismail, N. 2019. Dependence modeling and portfolio risk estimation using GARCH-Copula approach. *Sains Malaysiana* 48(7): 1547-1555.
- Todinov, M. 2019. Mechanisms for improving reliability and reducing risk by stochastic and deterministic separation. *Journal of Risk Research* 22(4): 448-474.
- Weber, P., Medina-Oliva, G., Simon, C. & Iung, B. 2012. Overview on Bayesian networks applications for dependability, risk analysis and maintenance areas. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 25(4): 671-682.
- Xin, Z. & Wen, L. 2017. A Bayesian network approach to causation analysis of road accidents using Netica. *Journal of Advanced Transportation* <https://doi.org/10.1155/2017/2525481>
- Yazdi, M., Nikfar, F. & Nasrabadi, M. 2017. Failure probability analysis by employing fuzzy fault tree analysis. *International Journal of System Assurance Engineering and Management* 8(2): 1177-1193.
- Zaman, M.B., Kobayashi, E., Wakabayashi, N., Khanfir, S., Pitana, T. & Maimun, A. 2014. Fuzzy FMEA model for risk evaluation of ship collisions in the Malacca Strait: Based on AIS data. *Journal of Simulation* 8(1): 91-104.
- Zamzuri, Z. & Gwee, J.H. 2020. Comparing and forecasting using stochastic mortality models: A Monte Carlo simulation. *Sains Malaysiana* 49(8): 2013-2022.
- Zhang, J., Teixeira, A.P., Guandes Soares, C., Yan, X. & Liu, K. 2016. Maritime transportation risk assessment of Tianjin Port using Bayesian belief network. *Risk Analysis* 36(6): 1171-1187.
- Zhang, J. 2017. *Life-Oriented Behavioral Research for Urban Policy*. Japan: Springer.

\*Pengarang untuk surat-menyurat; email: zamira@ukm.edu.my