

MENGOPTIMUMKAN PENJADUALAN DAN PENGHALAAN JURUTEKNIK DENGAN ALGORITMA GENETIK DAN PENJELAJAHAN KEJIRANAN LUAS BERUBAHSUAI

Muhammad Afif Imran

¹*Fakulti Teknologi & Sains Maklumat, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi,, Selangor Darul Ehsan, Malaysia*

Abstrak

Masalahan Jadual (MJ) dan Masalah Perancangan dan Penjadualan Laluan Juruteknik (TRSP) merupakan dua permasalahan yang sering terjadi dalam bidang Pengurusan Perkhidmatan Lapangan (PPL). Kedua permasalahan ini adalah untuk mengoptimumkan jadual juruteknik lapangan yang dapat dimodelkan menggunakan rumus matematik dan juga algoritma pengoptimuman. Projek yang dijalankan menggunakan dua kaedah untuk menyelesaikan dua masalah tersebut iaitu Algorithma Genetik (AG) dan Penjelajahan Kejiranan Luas Berubahsuai (PKLB). AG telah dicadangkan untuk menyelesaikan MJ manakala PKLB pula dicadangkan untuk menyelesaikan masalah TRSP. AG dapat mengurangkan masa untuk mengoptimumkan jadual dan memberikan tugas yang sesuai kepada juruteknik. PKLB pula dicadangkan kerana telah menunjukkan prestasi yang baik dari segi kualiti solusi dan kecekapan pengkomputeran. Pada akhir projek ini jadual pekerjaan dapat dikeluarkan dan perjalanan juruteknik dapat ditentukan.

Kata kunci: Algorithma Genetik, Penjelajahan Kejiranan Luas Berubahsuai, Masalah Jadual, Masalah Perancangan dan Penjadualan Laluan Juruteknik, Pengurusan Perkhidmatan Lapangan

Pengenalan

Laporan teknik hendaklah menggunakan format jarak baris dua kali ganda (*double spacing*), dan saiz fon 12 pada kertas A4 dengan tidak melebihi 25 mukasurat. Secara umum, kandungan laporan teknik hendaklah terdiri daripada Pendahuluan, Metodologi Kajian, Keputusan dan Perbincangan, Kesimpulan, Penghargaan, dan Rujukan.

Dalam Pengenalan bagi laporan teknik, terdapat beberapa elemen penting yang perlu ada dan diterangkan secara ringkas: 1) Latar Belakang: Terangkan latar belakang projek. Sertakan penjelasan mengenai isu atau masalah yang ingin diselesaikan melalui projek ini dan mengapa ia merupakan topik yang relevan dan penting untuk dikaji, 2) Objektif: Nyatakan tujuan utama projek dan apa yang ingin dicapai melalui kajian ini, 3) Skop: Terangkan dengan jelas skop projek. Jelaskan batasan projek, termasuk isu-isu kajian, 4) Justifikasi dan Kepentingan: Terangkan mengapa projek ini perlu dilakukan dan bagaimana hasilnya dapat memberi manfaat atau sumbangan kepada bidang ilmu atau industri yang berkaitan, 5) Metodologi: Menerangkan model proses pembangunan khusus yang diguna dalam projek ini. 6) Organisasi Laporan: Berikan ringkasan mengenai struktur keseluruhan laporan. Jelaskan isi dan urutan setiap bahagian yang akan dibincangkan dalam laporan teknik ini.

Pengenalan harus memberikan pemahaman yang jelas tentang projek dan memberi gambaran menyeluruh tentang kajian yang dilakukan. Ia perlu disusun secara ringkas dan mudah difahami, serta mencukupi untuk menerangkan latar belakang dan tujuan projek dengan jelas.

Pada era moden ini, terdapat banyak syarikat yang menitik beratkan sistem dapat berjalan dengan lancar. Akan tetapi banyak perkara yang dapat menyebabkan terdapat gangguan seperti kesilapan manusia yang menyebabkan sesuatu sistem terbantut. Perkara ini akan menyebabkan keseluruhan syarikat akan merasai dampaknya. Seperti jika jadual yang dikeluarkan terdapat kesalahan dalam menugaskan juruteknik, tugas yang diberikan tidak dapat disiapkan kan ataupun akan tertangguh kerana kekurangan kemahiran ataupun peralatan. Oleh itu, Masalah Jadual (MJ) dan juga Masalah Perancangan dan Penjadualan Laluan Juruteknik (TRSP) merupakan satu aspek myang penting yang perlu diselesaikan untuk mengoptimumkan jadual yang dikeluarkan.

Kecekapan mengurus semua sumber akan berkurangan dan kesilapan manusia seperti salah laku dan miskomunikasi akan berlaku kerana beban kerja untuknya agak berat. Tambahan pula, masalah ini akan menyebabkan juruteknik membuang lebih masa untuk memulakan tugas yang diberikan. Jika juruteknik menggunakan radas atau bahan yang sama untuk sesuatu tugas, mereka tidak tahu yang mana satu keutamaannya dan akhirnya melakukan tugas yang kurang sebelum itu dahulu. Masalah ini akan menyebabkan pasukan pengeluaran mengalami kehilangan produk. Maklumat yang salah juga boleh berlaku kepada juruteknik dan juruteknik pergi ke lokasi yang salah.

Gabungan peranti mudah alih dan PPL boleh membuat penyelesaian baharu untuk aliran kerja perniagaan dengan cekap dan lancar. Penjadualan Automatik juga boleh mengurus pasukan dan sumber secara optimum dan meningkatkan produktiviti. Dengan melakukan penjadualan automatik juga tiada kesilapan manusia atau masalah komunikasi antara juruteknik dan pengurus. Semua juruteknik dan tugas yang diberikan akan diberikan mengikut ketersediaan dan kemahiran yang mereka ada.

Objektif projek adalah untuk membina PPL berfungsi pada papan muka. Ia juga berfungsi sebagai penyelesaian baharu untuk perisian aliran kerja dengan automatik dan akan meningkatkan produktiviti dan kecekapan untuk kerja juruteknik. Matlamat projek ini adalah untuk melaksanakan kecerdasan pembuatan pada sistem untuk menjana penjadualan automatik pada penugasan tugas dan

memilih juruteknik yang betul. Ia juga boleh mencadangkan juruteknik yang sesuai untuk diarahkan ke lokasi yang bersesuaian. Tujuan seterusnya adalah untuk membuat kajian algoritma dan model yang wujud adalah yang paling sesuai untuk menghasilkan jadual automatik. Matlamat memaparkan hasil yang wujud pada AG dan PKLB dalam penghasilan jadual kepada juruteknik.

Jadual bagi juruteknik dan statistik pada kajian ini akan dipaparkan pada papan muka pada google colab. Data yang diambil adalah data daripada laman sesawang VRP-REP untuk membandingkan hasil kajian dengan penyelesaian yang paling optimum. Jadual yang menggunakan AG juga merupakan domain daripada HVAC. Bagi data set perjalanan juruteknik, ORTEC-n242-k12 telah dipilih untuk dijalankan pada kajian ini. Pengaturcaraan program adalah digunakan menggunakan bahasa pengaturcaraan python.

Mencari dan memilih algoritma yang betul akan mengambil masa yang lama untuk menguji satu demi satu dan menjadikan projek lebih lama untuk menyiapkannya. Set data agak sukar dicari di tapak web dan sukar juga untuk mencari set data yang paling sesuai untuk melatih set data. Kekangan lain adalah jika juruteknik menetapkan jadual automatik sepenuhnya dalam sistem dan terdapat kecemasan, pengurus tidak boleh memintas jadual. Jika ini berlaku akan timbul isu pertindihan juruteknik melakukan tugas yang sama pada masa dan lokasi yang sama. Pengurus diperlukan untuk mengemas kini data pada PPL dengan kerap supaya tidak ada kekeliruan di kalangan juruteknik

Bagi metodologi kajian ini telah dilakukan menggunakan 4 cara iaitu kajian literatur, eksperimen, model dibangunkan dan penilaian. Bagi kajian literatur, Rujukan telah dilakukan menggunakan artikel, kajian lepas, tesis dan juga kertas kerja daripada sumber sumber yang boleh dipercayai untuk menyokong kajian ini dilakukan. Melalui kaedah ini masalah yang dihadapi pada MJ dan TRSP boleh dikenalpasti dan dapat diselesaikan menggunakan algoritma yang betul dan menjana output yang memuaskan. Seterusnya eksperimen, Kajian ini telah dilakukan dengan cara “try and error” dan juga mengetahui mengapa sesuatu hasil itu berlaku. Cara untuk menyelesaikan MJ dan TRSP akan dititikberatkan pada fasa ini. Dengan ini penambah baikkan dapat dilakukan dan masalah

yang dihadapi dapat didokumenkan supaya dapat diketengahkan dan kajian akan datang tidak mengulangi kembali masalah yang dihadapi. Dengan cara ini juga AG dan PKLB dapat disesuaikan mengikut situasi nyata. Pada fasa ini juga kita dapat mengetahui kesemua dokumen yang perlu digunakan dan mengimport dokumen tersebut pada persekitaran kajian. Selain itu model dibangunkan, Setelah kajian dapat diketahui masalah dan juga cara penyelesaian cara untuk membangunkan model adalah perlu supaya kajian dapat berjalan dengan lancar. Fasa ini ialah masa untuk mengubah suai pengaturcaraan dan juga penalaan pemboleh obah dilakukan untuk mencari nilai yang paling sesuai dikemukakan. Setelah itu, kesemua maklumat yang ada pada kajian ini akan dipaparkan pada papan muka. Akhir sekali, penilaian dimana Fasa ini merupakan fasa yang paling penting kerana penilaian berkaitan output yang telah di hasilkan dapat di bandingkan atau pun dijustifikasikan. Selain ini perlu diketahui adakah hasil daripada kajian ini boleh diperbaiki lagi menggunakan algoritma yang lain. Dengan ini dapat disumbangkan kepada komuniti cara untuk menambah baik cara algoritma dijalankan.

Terdapat beberapa yang perlu diketahui dan difahami dalam kajian ini. Antaranya ialah Pengurusan Perkhidmatan Lapangan (PPL), Masalah Jadual (MJ), Penjadualan Automatik, Algoritma Genetik (AG), Algoritma Titisan Air Pintar (ATAP), Pengoptimuman Kawanan Zarah (PKZ), Masalah Perancangan dan Penjadualan Laluan Juruteknik (TRSP), Penjelajahan Kejiranan Luas Berubahsuai (PKLB), dan Set Data VRP-REP.

Pengurusan Perkhidmatan Lapangan (PPL) ialah pengurusan pekerja luar tapak dan sumber yang mereka perlukan untuk melakukan kerja mereka dengan berkesan (Lutkevich & Horwitz, 2021). Ia juga boleh ditakrifkan sebagai sistem yang menyelaras perkhidmatan operasi lapangan. Contoh biasa perkhidmatan lapangan termasuk paip, perkhidmatan HVAC, pengurusan infrastruktur telekomunikasi, dan juga penghantaran makanan. Mengesan kenderaan, memantau aktiviti pekerja, mengurus pengebilan, menjejaki pesanan pelanggan, membuat invoice, kerja penjadualan dan tugas pentadbiran lain adalah sebahagian daripada pengurusan perkhidmatan lapangan (Taylor, 2022).

Kajian semula literatur tentang masalah jadual masa adalah penting untuk memahami keadaan lapangan dan mengenal pasti kawasan untuk penyelidikan masa depan. Masalah jadual waktu, juga dikenali sebagai masalah jadual waktu sekolah atau masalah penjadualan kursus, adalah masalah pengoptimuman yang bertujuan untuk menjadualkan kelas untuk sekolah atau universiti mengikut set kekangan dan kriteria (Burke, 2004). Masalah jadual waktu mempunyai banyak literatur yang merangkumi pelbagai pendekatan dan teknik, daripada pengaturcaraan matematik kepada kecerdasan buatan dan kaedah heuristik (Cordeau & Laporte, 2005). Sejak tahun 1960-an, terdapat penyelidikan yang berterusan dalam bidang ini, dengan banyak kajian mencadangkan pelbagai pendekatan untuk menyelesaikan masalah (Kolisch & Hartl, 2000). Algoritma Genetik (AG), penyepuhlindapan simulasi, carian tabu, dan pengaturcaraan kekangan adalah beberapa teknik yang biasa digunakan dalam penyelidikan jadual waktu (Mersmann, Prüfer, & Trautmann, 2012). Teknik-teknik ini telah digunakan untuk menyelesaikan pelbagai masalah, termasuk masalah jadual waktu sekolah menengah (Thierry, Caron, & Hao, 2002), masalah jadual waktu universiti (Kendall & Whitwell, 2003), dan masalah penjadualan peperiksaan (Dharmaraja, & Srinivasan, 2007).

Salah satu bahagian penting PPL ialah menjana penjadualan kepada juruteknik. Sebelum idea memasukkan ai dalam sistem ini, pengurus perlu menetapkan juruteknik secara manual mengikut jadual. Juruteknik ditugaskan berdasarkan kepakaran, kemahiran, dan pengalaman di lapangan. Terdapat beberapa algoritma yang boleh digunakan untuk menjana penjadualan automatik iaitu Algoritma Genetik (AG), Algoritma Titisan Air Pintar (ATAP) dan Pengoptimuman Kawanan Zarah (PKZ). Terdapat juga perisian sedia ada yang melaksanakan penjadualan automatik dalam PPL. Contohnya ialah AI Field Management, Synchroteam, dan Acuity Scheduling. Perisian ini berada di kedudukan teratas dalam kategori berdasarkan laman sesawang GetApp.

Pendekatan Algoritma Genetik (AG) adalah untuk pengoptimuman nilai sedia ada dan menggunakan konsep "survival of the fittest". AG melaksanakan proses evolusi dan merupakan algoritma evolusi. Dalam proses ini, elemen yang paling kuat akan menjadi lebih kuat manakala

elemen yang paling lemah akan dihapuskan melalui proses pemilihan. Di samping itu, terdapat juga proses. Terdapat 5 fasa dalam algoritma genetik. Pertama ialah populasi awal. Dalam fasa ini setiap gen akan mewakili parameter yang menjadi pembolehubah untuk mendapatkan objektif. Senarai parameter akan membentuk penyelesaian yang dipanggil kromosom. Fasa seterusnya ialah fasa pemilihan di mana matlamat utama fasa ini adalah untuk mencari kawasan yang mempunyai penyelesaian terbaik. Konsep pemilihan ini diinspirasikan daripada konsep "the survival of the fittest" dan pemilihan akan menjadi keseimbangan antara penerokaan dan eksploitasi dalam ruang carian. Fasa keempat ialah fasa pembiakan. Pada fasa ini, GA akan menjana offspring dengan 2 cara iaitu crossover dan mutation. Crossover adalah proses yang sangat penting dalam GA kerana crossover memastikan pertukaran bahan genetik antara induk dan dengan itu mencipta kromosom yang lebih berkemungkinan lebih baik daripada induk. Akhirnya ialah fasa penumpuan. Dalam fasa ini terdapat beberapa peraturan untuk mengetahui masa untuk berhenti. Pertama jika tiada peningkatan kualiti penyelesaian selepas beberapa set generasi.

Algoritma titisan air pintar (ATAP) ialah algoritma pengoptimuman berasaskan populasi, diubah suai untuk memasukkan heuristik tempatan yang sesuai digunakan dalam banyak masalah, salah satunya ialah MJ (Li, Z., et.2014). Titisan air semulajadi biasanya mencari jalan yang betul dalam pelbagai pilihan yang ada. Pilihan yang optimum akan mengikut tindak balas titisan air yang muncul di dasar sungai (Hosseini, 2012). Dalam ATAP beberapa titisan air tiruan digunakan untuk mengubah persekitaran supaya laluan optimum adalah yang mempunyai jumlah tanah paling sedikit pada pautan. ATAP juga boleh digunakan untuk menyelesaikan masalah penjadualan kedai kerja berbilang objektif dalam sistem penjadualan (Niu, Ong, Nee, 2012) dan proses pengoptimuman carian dan pemilihan (Hendrawan, Murase, 2011). Pendekatan penyelesaian masalah algoritma ATAP dimodelkan dalam bentuk graf, $G = (V, E)$, di mana V dan E menandakan set nod dan tepi. Struktur graf bergantung kepada perwakilan masalah. Orientasi masalah yang ATAP sepatutnya mengoptimumkan dan mencari penyelesaian, biasanya dilihat berdasarkan andaian bahawa wujud

nod sumber dari mana titisan air bergerak melalui laluan yang dipilih ke nod yang tidak dilawati seterusnya. Laluan yang dilalui oleh titisan air mempunyai sedikit beban tanah. Oleh itu, pilihan untuk memilih laluan tertentu oleh ATAP bergantung pada jumlah tanah yang tersedia pada laluan yang belum dilalui dan laluan dengan tanah yang kurang dipilih.

Pengoptimuman Kawanan Zarah (PKZ) adalah suatu algoritma pengoptimuman yang terinspirasi oleh alam semulajadi iaitu koloni semut dan gerakan kelompok burung. Algoritma ini juga digunakan untuk mencari jalan penyelesaian yang optimum atau hampir optimum dalam masalah pengoptimuman dengan menyelaraskan gerakan antara zarah dalam ruang pencarian. Dalam PKZ, sekelompok zarah bergerak melalui ruang pencarian pelbagai dimensi, dan setiap zarah mewakili satu penyelesaian potensial. Gerakan zarah dipengaruhi oleh posisi terbaik yang pernah dicapai oleh sesuatu zarah itu sendiri (pbest) dan posisi terbaik yang telah dicapai oleh seluruh kelompok (gbest). Dengan perulangan, zarah-zarah dalam kawanan berinteraksi dan bergerak menuju penyelesaian yang lebih baik (jika ada). PKZ telah digunakan dalam pelbagai aplikasi, termasuk pengoptimuman parameter pada model ramalan cuaca, penjadualan tugas pada sistem pembuatan, pengoptimalan perjalanan dalam masalah penghantaran barang, dan banyak lagi. Algoritma ini telah terbukti cekap dalam menyelesaikan masalah mencari titik optimum yang sulit dan memberikan kemampuan untuk menjelajahi ruang pencarian yang baik. Contoh kajian yang menggunakan PKZ dan melibatkan pengoptimuman parameter pada model ramalan cuaca (Cholissodin, I., & Sutrisno, S., 2020). Dalam kajian ini, PKZ digunakan untuk mencari gabungan parameter yang menghasilkan ramalan cuaca yang paling tepat. zarah-zarah dalam kelompok mewakili konfigurasi parameter yang berbeza, dan gerakan mereka berdasarkan oleh peningkatan ketepatan ramalan. Dengan melakukan lelaran berulang, PKZ mampu menjumpai gabungan parameter yang mengoptimumkan ramalan cuaca. Dalam kajian lain, PKZ digunakan untuk menyelesaikan masalah penjadualan tugas pada sistem pembuatan. Zarah-zarah dalam kawanan mewakili jadual yang berbeza, dan gerakan mereka berdasarkan oleh peningkatan kecekapan pengeluaran. PKZ digunakan untuk menjana jadual

pengeluaran yang meminimumkan waktu jeda, mengurangi konflik sumber, dan memaksimumkan penggunaan fasiliti pembuatan. Dengan menggunakan PKZ, masalah penjadualan tugas yang sukar dapat diselesaikan secara cekap.

Masalah Perancangan dan Penjadualan Laluan Juruteknik (TRSP) adalah masalah yang melibatkan penjadualan tugas dan pengarahannya bagi sekelompok juruteknik atau pekerja lapangan. Tujuan dari TRSP adalah untuk mengoptimalkan penempatan tugas dan arah perjalanan juruteknik, sehingga cekap boleh beroperasi dan layanan kepada pelanggan dapat ditingkatkan. Dalam TRSP, terdapat beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan, seperti jadual pekerjaan, ketersediaan juruteknik, jarak antara lokasi yang perlu dilawati, keutamaan tugas, dan kekangan atau halangan lain (Mathlouthi, et, 2018). Masalah ini sedikit sukar kerana melibatkan gabungan pengoptimuman di mana tugas-tugas harus dijadualkan dan juruteknik harus diarahkan dengan cekap dan berkesan. TRSP melibatkan pencarian penyelesaian yang optimum atau mendekati optimum melalui penggunaan algoritma pengoptimuman. Pendekatan yang umum digunakan adalah gabungan antara teknik penjadualan dan pengoptimuman pengarahannya seperti Algoritma Genetik, Penjelajahan Kejiranan Luas Berubahsuai (PKLB) atau penyelesaian heuristik yang lain.

Penjelajahan Kejiranan Luas Berubahsuai (PKLB) adalah kaedah pengoptimuman yang telah digunakan untuk pelbagai masalah pengoptimuman gabungan. PKLB telah digunakan dalam menyelesaikan masalah seperti masalah penghantaran dan pengambilan inventori terpilih dan berkala, masalah penjadualan projek kekangan sumber, masalah penghantaran dan pengambilan dengan pemindahan, dan masalah penghantaran dan pengambilan dengan tingkap masa dan talian berjadual berdasarkan Belo-Filho, M., Amorim, P., & Almada-Lobo, B. Pada tahun 2015. Prinsip kerja PKLB adalah untuk memusnahkan (mengalih keluar permintaan) dan membaiki (memasukkan semula permintaan) penyelesaian semasa secara berurutan. Langkah ini dilakukan dengan tujuan untuk meneroka ruang carian dengan cara yang lebih cekap. Kaedah PKLB terdiri daripada tiga langkah utama iaitu, menjana penyelesaian awal, melakukan operasi memusnahkan, dan melakukan operasi

penapisan. Salah satu kelebihan PKLB ialah keupayaannya untuk belajar secara berubah suai semasa proses carian. Ini bermakna PKLB boleh mengesahkan pengendali yang lebih berkesan dalam menghasilkan penyelesaian yang baik dan menggunakan maklumat ini untuk memilih pengendali yang lebih berkesan. PKLB telah berjaya bersaing dengan heuristik khusus lain dalam menyelesaikan masalah pengoptimuman yang kompleks. Dengan keberkesanannya dalam meneroka ruang carian secara cekap dan adaptif, PKLB telah menjadi kaedah popular dalam domain pengoptimuman gabungan.

Akhir Sekali, Laman web VRP-REP merupakan sumber yang menyediakan set data yang berkaitan dengan Masalah Pengarahan Kenderaan (MPK) yang digunakan dalam kajian dan penelitian. Laman web ini menyediakan akses kepada pelbagai set data yang digunakan untuk mengkaji dan mengembangkan algoritma pengoptimuman dalam penyelesaian masalah pengarahan kenderaan. Set data ini mengandungi maklumat mengenai jarak antara lokasi-lokasi yang perlu dilawati, permintaan atau kapasiti pada setiap lokasi, waktu perjalanan antara lokasi-lokasi, dan sebarang kekangan yang berkaitan dengan masalah pengarahan kenderaan yang sedang dikaji. Dengan menggunakan dataset yang disediakan, para pengkaji dapat mempelajari dan membandingkan prestasi algoritma pengoptimuman dalam menyelesaikan masalah pengarahan kenderaan. Mereka dapat menggunakan dataset ini sebagai ujian untuk menguji kebolehpercayaan, kecekapan, dan keberkesanan algoritma pengarahan kenderaan yang mereka kembangkan atau kaji.

Metodologi Kajian

Model proses pembangunan yang digunakan dalam projek ini adalah Algoritma Genetik (AG). AG digunakan untuk mencari jalan penyelesaian terbaik dalam ruang pencarian yang rumit dengan menggunakan elemen-elemen seperti populasi, kromosom, fungsi fitness, crossover, dan mutasi. AG telah terpilih untuk menyelesaikan Masalah Jadual (MJ) kerana mempunyai objektif iaitu mencari jadual yang memberikan hasil terbaik bagi juruteknik dalam menjalankan tugas mereka pada lokasi-lokasi yang tertentu. Dengan jumlah juruteknik dan jadual kerja mereka sebagai kromosom, AG dapat meneroka pelbagai kombinasi dan penyelesaian yang berpotensi untuk mengoptimalkan hasil. Kemampuan AG untuk melakukan pemilihan melalui crossover dan mutasi juga memungkinkan penerokaan jalan penyelesaian yang lebih luas dan pelbagai. Bagi TRSP model yang telah dicadangkan ialah model PKLB kerana boleh mengesahkan pengendali yang lebih berkesan dalam menghasilkan penyelesaian yang baik. PKLB juga telah berjaya bersaing dengan heuristik khusus lain dalam menyelesaikan masalah pengoptimuman yang kompleks. Dengan keberkesanannya dalam meneroka ruang carian secara cekap dan adaptif, PKLB telah menjadi kaedah popular dalam domain pengoptimuman gabungan. PKLB juga telah di tingkat baik dengan adanya kajian menggunakan Kejiranan Luas Berubahsuai Selari (PKLBs).

Data yang digunapakai ialah data berdasarkan VRP-REP iaitu data yang mempunyai maklumat berkaitan perjalanan kenderaan dalam melawati setiap koordinat yang ada. Data data ini diambil untuk membandingkan sejauh mana algoritma dapat mengoptimumkan perjalanan juruteknik. Data ini telah diambil untuk menyelesaikan TRSP. Seterusnya, data yang diperoleh dari kaedah pengumpulan data akan dianalisis menggunakan pendekatan analisis yang melibatkan proses pengoptimuman dengan menggunakan AG dan PKLB. Proses pengoptimuman akan mencari jadual terbaik yang memaksimumkan kriteria fitness (hasil kerja juruteknik). Model pada AG juga akan di reke seperti berikut:

- Menerapkan Algoritma Genetik untuk mencari jadual terbaik yang memaksimumkan kriteria fitness.

- Menilai setiap solusi calon (kromosom) menggunakan fungsi fitness yang mencerminkan set kemahiran juruteknik.
- Melakukan operasi crossover dan mutasi untuk memperkenalkan kepelbagaian dan menjelajah lebih banyak jalan penyelesaian yang mempunyai potensi.
- Mengulangi proses evolusi selama beberapa generasi hingga mencapai jadual yang optimum atau syarat berhenti tertentu.

Akhir sekali kualiti bagi setiap jadual yang menggunakan parameter yang berbeza akan diuji dan akan dianalisis yang manakah jadual yang paling terbaik berdasarkan set set parameter yang telah digunakan. Untuk menilai jadual yang terbaik bilangan generasi dan juga masa yang diambil untuk menyelesaikan masalah akan dicatatkan dan diperbandingkan antara satu sama lain. Dengan ini penilaian bagi jadual yang paling optimum dapat dijalankan sesuai dengan objektif kajian.

Keputusan dan Perbincangan

Pada fasa ini analisis data dan hasil kajian yang telah dilakukan akan dibincangkan berdasarkan eksperimen berkaitan Algoritma Genetik (AG) dalam menyelesaikan Masalah Jadual (MJ) dalam mengarahkan juruteknik melakukan kerja yang sepatutnya manakala Penjelajahan Kejiranan Luas Berubahsuai (PKLB) dapat menyelesaikan Masalah Perancangan dan Penjadualan Laluan Juruteknik (TRSP).

Ekspirimen	generations	Mutation chance	Number of offspring	Keputusan 1	Keputusan 2
1	50	0.025	30	7 Generations dan 6.71 seconds	50 Generations dan 40.65 seconds
2	50	0.05	30	20 Generations dan 27.38 seconds	50 Generations dan 42.11 seconds
3	50	0.015	30	50 Generations dan 39.62 seconds	50 Generations dan 23.28 seconds
4	50	0.025	10	7 Generations dan 2.84 seconds	4 Generations dan 1.46 seconds
5	50	0.025	50	50 Generations dan 40.71 seconds	40 Generations dan 46.99 seconds
6	100	0.025	30	100 Generations dan 60.62seconds	16 Generations dan 21.81 seconds
7	150	0.025	30	150 Generations dan 87.56seconds	4 Generations dan 0.95 seconds

Rajah 1: jadual bagi MJ meggunakan AG

Berikut merupakan pemboleh ubah berserta keterangannya:

1. Generasi (Generations)

Penjanaan merujuk kepada bilangan lalaran atau kitaran Algoritma Genetik (AG). Setiap kitaran melibatkan beberapa langkah seperti pemilihan, silang, dan mutasi, yang secara kolektif membentuk generasi baru populasi. Lebih besar bilangan generasi, lebih banyak peluang untuk algoritma meneroka dan mengeksploitasi ruang penyelesaian. Walau bagaimanapun, menggunakan terlalu banyak generasi juga boleh menyebabkan masa pengkomputeran yang lebih lama. Oleh itu, pilihan bilangan generasi harus mencapai keseimbangan antara kualiti penyelesaian yang diharapkan dan masa pelaksanaan yang dibenarkan.

2. Mutasi (Mutation Chance)

Mutasi adalah proses rawak yang menerapkan perubahan rawak pada individu dalam populasi. Ini memungkinkan untuk memperkenalkan variasi baru dan memungkinkan algoritma untuk "jump" dari titik penyelesaian yang mungkin menjadi minimum. Peluang mutasi adalah kebarangkalian bahawa setiap individu dalam populasi akan mengalami mutasi. Jika peluang mutasi tinggi, maka ada kemungkinan besar algoritma akan meneroka ruang penyelesaian secara lebih agresif. Selain itu, jika peluang mutasi rendah, maka algoritma akan cenderung lebih bergantung kepada operasi "selection" dan "crossover" untuk meningkatkan populasi. Pemilihan tingkat mutasi yang tepat dapat berpelbagaikan penyelesaian tergantung pada masalah dan tujuan pencarian penyelesaian.

3. Jumlah Offspring (Number of Offspring Effect)

Jumlah Offspring adalah jumlah individu baru yang dihasilkan dari crossover dalam setiap kitaran AG. Ketika algoritma menghasilkan lebih banyak keturunan, ia dapat meneroka lebih banyak kemungkinan penyelesaian dan memperluas kepelbagaian dalam populasi. Akan tetapi, peningkatan jumlah keturunan juga berarti meningkatkan kerumitan algoritma dan waktu pengiraan. Jumlah keturunan yang lebih besar cenderung mempengaruhi penerokaan algoritma, sementara jumlah keturunan yang lebih kecil lebih cenderung untuk mempengaruhi penerokaan algoritma, fokus pada penyelesaian terbaik. Pemilihan jumlah keturunan harus dipertimbangkan keseimbangannya antara penerokaan dan eksploitasi yang diinginkan.

Eksperimen ini dijalankan untuk mengetahui parameter yang terbaik untuk digunakan sebagai penyelesaian terakhir bagi MJ. Pada eksperimen yang pertama hingga ketiga mutation change ialah pemboleh ubah dimanipulasi dan nilai yang diuji ialah 0.025 bagi eksperimen yang pertama, 0.05 bagi eksperimen yang kedua dan 0.015 bagi eksperimen yang ketiga. Maklumlah manipulasi yang dimalarkan adalah generasi = 50, dan number of offspring = 30. Hasil keputusan 1 dan keputusan 2 telah diambil bagi ketiga-tiga eksperimen ini telah diambil. Pada eksperimen yang pertama keputusan 1 selesai pada generasi 7 dan masa yang diambil ialah 6.71 saat. Manakala pada keputusan yang

kedua, masalah diselesaikan pada generasi ke 50 dan masa 40.65 saat. Seterusnya bagi eksperimen kedua dimana mutation change = 0.05, keputusan 1 mencatatkan 20 generasi selama 27.38 saat manakala keputusan kedua mencatatkan 50 generasi dan 42.11 saat. Akhir sekali bagi eksperimen yang ketiga iaitu nilai mutation change = 0.015. keputusan pertama memberikan nilai sebanyak 50 generasi dan 39.62 saat dan keputusan kedua memberikan nilai 50 generasi dan 23.28 saat.

Seterusnya bagi pemboleh ubah yang dimanipulasikan ialah number of offspring iaitu, (10, 50) bagi eksperimen 4 dan 5. Pemboleh ubah dimalarkan pula ialah generation = 50 dan number of mutation change = 0.025. Pada eksperimen 4, bilangan offspring telah dikurangkan kepada 10, dan hasilnya algoritma menumpu dengan cepat dan memberikan penyelesaian yang boleh diterima dalam hanya 7 generasi dan masa pelaksanaan yang singkat iaitu 2.84 saat. Manakala untuk keputusan 2 hanya memerlukan 4 generasi dan masa pelaksanaan 1.46 saat. Seterusnya eksperimen 5 dimana number of offspring telah ditambahkan menjadi 50 dan keputusan 1 dengan 50 generasi mengambil masa selama 40.71 saat berbanding dengan keputusan 2 yang menyelesaikan masalah menggunakan 40 generasi akan tetapi mengambil masa yang lebih lama iaitu 46.99 saat.

Selain itu, eksperimen 6 dan 7 telah dijalankan untuk menguji pemboleh ubah yang dimanipulasikan iaitu pertambahan bilangan generasi (100,150). Manakala nilai pemboleh ubah yang dimalarkan ialah mutation change = 0.025 dan bilangan offspring = 30. Pada eksperimen 6 dengan bilangan generasi 100 keputusan 1 telah menyatakan 100 generasi digunakan untuk masa 60.62 saat. Manakala pada keputusan 2 sebanyak 16 generasi untuk menyelesaikan masalah dengan masa sebanyak 21.81 saat. Akhir sekali untuk eksperimen 7 dengan generasi sebanyak 150 telah diuji, untuk keputusan 1 dengan menggunakan 150 generasi dan masa 87.56 saat. Manakala pada keputusan 2 dengan hanya 4 generasi Berjaya mencari penyelesaian dalam masa 0.95 saat. Perkara ini menunjukkan pertambahan generasi berkemungkinan tidak diperlukan dalam kes ini.

Eksperimen	degree_of_destruction	MAX_STRING_REMOVALS	MAX_STRING_SIZE	Seed
1	0.01	1	6	1234
2	0.05	2	10	5678
3	0.1	3	12	9999

Rajah 2: jadual bagi TRSP menggunakan PKLB

Bagi pengujian TRSP, sebanyak 3 eksperimen telah dijalankan dengan menggunakan set parameter yang berbeza. Parameter yang akan dimanipulasi ialah `degree_of_destruction`, `MAX_STRING_REMOVALS`, `MAX_STRING_SIZE`, dan `SEED`.

`degree_of_destruction` mengawal perkadaran pelanggan yang dipadamkan secara rawak semasa pengendali padam rawak. Jika nilai parameter ini dinaikkan, ia akan menyebabkan lebih banyak pemadaman yang merosakkan, yang berpotensi mewujudkan lebih banyak laluan berpecah-belah. Sebaliknya, jika nilai parameter ini dikurangkan, akan menyebabkan lebih sedikit pengalihan keluar, yang mungkin kurang berkemungkinan untuk memperbaiki penyelesaian. Selain itu `MAX_STRING_REMOVALS` pula menentukan bilangan maksimum laluan yang boleh dipadamkan semasa pengendali pemadaman rentetan. Jika nilai parameter ini dinaikkan, ia akan membolehkan penyingkiran laluan yang lebih agresif, yang boleh membawa kepada penerokaan ruang penyelesaian yang lebih luas. Sebaliknya, jika nilai parameter ini dikurangkan, akan menggalakkan eksploitasi, kerana penghapusan laluan yang lebih sedikit.

Seterusnya, `MAX_STRING_SIZE` merupakan parameter yang menetapkan saiz maksimum rentetan (segmen mengikut laluan) yang boleh dipadamkan semasa pengendali pemadaman rentetan. Jika nilai parameter dinaikkan, ia boleh menyebabkan pemadaman segmen yang lebih besar, yang boleh merosakkan lebih banyak penyelesaian. Menurunkan nilai parameter ini boleh menghadkan saiz segmen yang dipadamkan, memfokuskan penerokaan pada kawasan yang lebih kecil. Akhir sekali, parameter `SEED` yang mempengaruhi urutan nombor rawak dalam algoritma. Menukar `SEED`

akan menghasilkan urutan rawak yang berbeza, yang mungkin menjejaskan penyelesaian yang ditemui dan tingkah laku algoritma.

Pada eksperimen 1, parameter yang digunakan ialah $\text{degree_of_destruction} = 0.01$, $\text{MAX_STRING_REMOVALS} = 1$, $\text{MAX_STRING_SIZE} = 6$, dan $\text{seed} = 1234$. Keputusan yang diperoleh ialah simple ALNS = 135760 manakala selepas string removal = 128965. Seterusnya bagi eksperimen 2, $\text{degree_of_destruction} = 0.05$, $\text{MAX_STRING_REMOVALS} = 2$, $\text{MAX_STRING_SIZE} = 10$, dan $\text{seed} = 5678$. Keputusan yang diperoleh ialah simple ALNS = 133251 manakala selepas string removal = 130957. Akhir sekali iaitu eksperimen 3 $\text{degree_of_destruction} = 0.1$, $\text{MAX_STRING_REMOVALS} = 3$, $\text{MAX_STRING_SIZE} = 12$, dan $\text{seed} = 9999$. Keputusan yang diperoleh ialah simple ALNS = 139072, manakala selepas string removal = 132984.

Pada ekspeprimen 1, keputusan yang diperoleh setelah menggunakan simple ALNS adalah 135760. Selepas melakukan string removal, hasilnya meningkat menjadi 128965. Ini menunjukkan bahawa dengan menggunakan parameter ini, kita mendapat peningkatan prestasi selepas melaksanakan pemindahan rentetan. Manakala pada eksperimen 2, keputusan yang diperoleh setelah menggunakan simple ALNS adalah 133251. Selepas dilakukan string removal, hasilnya meningkat menjadi 130957. Perbezaan antara keputusan sebelum dan selepas pemindahan rentetan tidak sebesar pada eksperimen pertama. Ini menunjukkan bahawa walaupun parameter yang lebih tinggi digunakan untuk $\text{degree_of_destruction}$ dan $\text{MAX_STRING_REMOVALS}$, tetapi MAX_STRING_SIZE yang lebih tinggi mungkin menyumbang kepada keputusan yang lebih kecil selepas pemindahan rentetan. Akhir sekali, eksperimen 3 keputusan yang diperoleh setelah menggunakan simple ALNS adalah 139072. Selepas dilakukan string removal, hasilnya meningkat menjadi 132984. Dalam eksperimen ini, peningkatan hasil selepas pemindahan rentetan adalah yang tertinggi daripada semua eksperimen sebelumnya. Ini menunjukkan bahawa parameter-parameter yang lebih tinggi digunakan untuk

degree_of_destruction dan MAX_STRING_REMOVALS bersama dengan MAX_STRING_SIZE yang lebih besar membantu dalam meningkatkan hasil setelah pemindahan rentetan.

Kesimpulan

Projek ini bertujuan untuk membangunkan sebuah sistem pengurusan Masalah Perancangan dan Penjadualan Laluan Juruteknik (TRSP) menggunakan algoritma genetik (AG) dan penjelajahan kejurangan luas berubahsuai (PKLB) dalam konteks industri HVAC. Sistem ini dirancang untuk membantu syarikat dalam mengoptimalkan penjadualan tugas, pengarahannya, dan penggunaan sumber teknikal lapangan. Dengan gabungan kekuatan AG dan PKLB, diharapkan sistem ini dapat memberikan penyelesaian jadual yang optimum atau mendekati optimum, dengan tujuan meningkatkan kecekapan operasi, mengurangkan kos perjalanan, dan memaksimumkan perkhidmatan kepada pelanggan. Bagaimanapun, sistem yang perlu diberi perhatian ialah kerumitan dan masa pengiraan yang tinggi dalam melaksanakan algoritma genetik dan meneroka kejurangan penyesuaian yang luas. Pelaksanaan yang tidak cekap boleh menjejaskan prestasi sistem dalam menghasilkan penyelesaian jadual yang cepat dan tepat. Selain itu, had data yang tidak lengkap atau tidak tepat boleh menjejaskan kualiti penyelesaian yang dihasilkan oleh sistem. Untuk peningkatan pada kajian di masa hadapan, terdapat beberapa cadangan penambahbaikan yang boleh dilakukan. Pertama, boleh dilakukan perbandingan prestasi antara algoritma genetik (AG) dan penjelajahan kejurangan luas berubahsuai (PKLB) dengan algoritma optimisasi lain dalam konteks permasalahan TRSP. Hal ini akan memberikan wawasan lebih lanjut tentang kelebihan dan kelemahan pendekatan yang lebih terperinci.

Penambahbaikan kajian boleh dilakukan dengan menggabungkan kedua-dua algoritma iaitu Algoritma Genetik (AG) dan Penjelajahan Kejurangan Luas Berubahsuai (PKLB) dalam membentuk satu algoritma yang boleh menentukan tugas yang paling sesuai untuk ditugaskan kepada juruteknik selari dengan perjalanan yang paling tepat untuk diambil oleh juru teknik. Hal ini kerana jika perkara ini dapat dilakukan, dunia pengoptimuman akan menjadi sangat maju dan kecekapan

setiap perkhidmatan akan terus meningkat dari masa ke masa. Selain itu, PKLB boleh juga diubahsuai menjadi PKLB selari untuk mempercepatkan perjalanan juruteknik dalam masalah yang mungkin akan bermutasi menjadi lebih mencabar. Algoritma Genetik juga boleh diambil kira untuk digunakan dalam domain lain seperti, jadual pengangkutan awam, dan juga dalam bidang tugas jururawat dan doktor di hospital. Akhir sekali masalah pengarahannya juruteknik boleh di gunakan untuk mengetahui siapakah juruteknik yang paling kerap melakukan kerja dan mempunyai kemahiran yang terbaik untuk menaikkan pangkat ataupun di nilai seseorang juruteknik.

Kajian boleh memberikan sumbangan untuk mengembangkan ataupun menggabungkan penggunaan AG dan juga PKLB supaya hasil yang lebih memuaskan dapat dicapai seperti membuat perbandingan jurutiknik yang cekap melakukan tugas yang telah diarahkan. Kekangan yang ada pada kajian ini ialah kurang ilmu pengetahuan sedia ada bagi algorithma genetik dan juga cara untuk mengimplimentasikan di dalam python. Jadual yang dapat dijana juga memerlukan pakar untuk mengjustifikasikan bahawa jadual tersebut merupakan jadual yang boleh diguna pakai. Cadangan yang boleh diguna pakai ialah dengan mengedarkan jadual kepada pengurus dan juga juruteknik untuk memberi markah kepada jadual yang dikeluarkan secara manual. Seterusnya membuat kajian bagaimana jadual tersebut dinilai dan mencuba untuk memperbaiki algoritma yang telah dibuat.

Secara keseluruhan, kajian yang telah dijalankan telah memenuhi kriteria objektif iaitu menghasilkan jadual kepada juruteknik berdasarkan Pengurusan Perkhidmatan Lapangan. Akan tetapi jadual yang dihasilkan berkemungkinan bukan jadual yang paling optimum. Oleh itu, jadual yang lebih baik mungkin dapat dijana sekiranya kekangan ataupun cabaran dapat diselesaikan dengan lebih awal. Seterusnya jadual yang dibuat juga dikhuatiri mempunyai masalah jarak lokasi yang ditugaskan adalah jauh dan tidak sesuai pada perjalanan juruteknik.

Penghargaan

Saya ingin mengucapkan ribuan terima kasih kepada penyelia projek tahun akhir saya, Prof. Dr. Haslina Arshad atas nasihat, bimbingan, dorongan dan sokongan beliau berikan dalam sepanjang tempoh pengkajian saya untuk Projek Sarjana Muda ini. Saya amat menghargai kesabaran dan semangat Prof. Dr. Haslina Arshad yang sentiasa bersedia untuk berkongsi ilmu pengetahuan dan kepakarannya bersama saya demi mempertingkatkan kemahiran penyelidikan dan pembangunan diri saya bagi sepanjang tempoh Projek Sarjana Muda ini. Ucapan terima kasih juga kepada para pensyarah Fakulti Teknologi Sains dan Maklumat atas perkongsian ilmu pengetahuan, didikan dan dorongan sepanjang tahun pengajian di Universiti Kebangsaan Malaysia.

Copyright@FTSM
UKM

RUJUKAN

- A. A. Kovacs, S. N. Parragh, K. F. Doerner, R. F. Hartl, Adaptive large neighborhood search for service technician routing and scheduling problems. *Journal of scheduling*, 15(5), 579-600, 2012.
- Aarts, E., & Lenstra, J. K. (2001). Local search for solving large-scale timetable problems. *Journal of Heuristics*, 7(4), 341–366.
- B. Dash, D. Mishra, A. Rath and M. Acharya, "A hybridized K-means clustering approach for high dimensional dataset", *International Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 2, no. 2, pp. 59-66, 2010.
- Burke, E. (2002). Hybrid genetic algorithms for university course timetabling. *Journal of Heuristics*, 8(1), 5–35.
- Balcilar, M. (2018, September 19). TimeTabling-GeneticAlgorithm. Retrieved from <https://github.com/balcilar/TimeTabling-GeneticAlgorithm>
- Carchrae, T., & Beck, J. (2009). Principles for the Design of Large Neighborhood Search. *Journal of Mathematical Modelling and Algorithms*. <https://doi.org/10.1007/s10852-008-9100-2>.
- Cordeau, J. F., & Laporte, G. (2005). Recent developments in school timetabling. *European Journal of Operational Research*, 164(1), 1–18.
- Dharmaraja, T. S., & Srinivasan, A. (2007). An examination scheduling system. *Journal of Scheduling*, 10(5), 345-364.
- Egeblad, J., Larsen, J., & Kramsch, D. (2015). Scheduling for sustainability: A case study on school transportation scheduling. *Journal of Cleaner Production*, 87, 87-96.
- Fujimura, Y., & Ando, Y. (2017). Energy-efficient school timetable generation using dynamic programming. *Journal of Cleaner Production*, 140, 654-664.
- Gamst, M. (2014). Exact and heuristic solution approaches for the Integrated Job Scheduling and Constrained Network Routing Problem. *Discret. Appl. Math.* <https://doi.org/10.1016/j.dam.2011.07.011>.

- Hendrawan Y, Murase H. Neural-intelligent water drops algorithm to select relevant textural features for developing precision irrigation system using machine vision. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2011 Jul 31;77(2):214–28.
- Jain, S., & Dhanapal, R. (2019). Field service management: A literature review. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 12(3), 27.
- Kendall, G., & Whitwell, G. (2003). Timetabling at the university of york. *Journal of Scheduling*, 6(4), 337-354.
- Kolisch, R., & Hartl, R. F. (2000). A survey of recent developments in scheduling under resource constraints. *Annals of Operations Research*, 95(1), 11-58.
- Kumar, M. (2022, June 10). Project Management in Data Science using CRISPDM - INSAID. Medium. <https://medium.com/international-school-of-ai-datascience/project-management-in-data-science-using-crisp-dm-54ee35a5f4f3>
- Liu, Y. (2020). A literature review of field service management: Challenges, solutions, and future directions. *Journal of Business Research*, 117, 304-323.
- Lutkevich, B., & Horwitz, L. (2021b, October 21). field service management (FSM), Customer Experience. <https://www.techtarget.com/searchcustomerexperience/definition/field-servicemanagement-FSM>
- Mersmann, O., Prüfer, D., & Trautmann, H. (2012). Heuristics and metaheuristics for the course timetabling problem. *Journal of Heuristics*, 18(5), 589-624.
- Niu SH, Ong SK, Nee AY. An improved intelligent water drops algorithm for achieving optimal job-shop scheduling solutions. *International Journal of Production Research*. 2012 Aug 1;50(15):4192–205.
- Palmqvist, C., Olsson, N., & Hiselius, L. (2018). The Planners' Perspective on Train Timetable Errors in Sweden. *Journal of Advanced Transportation*. <https://doi.org/10.1155/2018/8502819>.
- Paly, M., & Zell, A. (2009). Optimal Irrigation Scheduling with Evolutionary Algorithms. . https://doi.org/10.1007/978-3-642-01129-0_18.

- Pillac, V., Guéret, C., & Medaglia, A. (2013). A parallel matheuristic for the technician routing and scheduling problem. *Optimization Letters*. <https://doi.org/10.1007/S11590-012-0567-4>.
- Rafiei, R., & Al-Salem, S. M. (2018). Fairness in school timetabling: A review. *Journal of Scheduling*, 21(4), 475-489.
- Roosbeh, I., Özlen, M., & Hearne, J. (2018). An Adaptive Large Neighbourhood Search for asset protection during escaped wildfires. *Comput. Oper. Res.* <https://doi.org/10.1016/j.cor.2018.05.002>.
- Shah-Hosseini H. An approach to continuous optimization by the intelligent water drops algorithm. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 2012 Jan 1;32:224–9.
- Sharma, R., & Lobiyal, D. (2019). Intelligent Water Drop Based Coverage-Connectivity and Lifespan Maximization Protocol for Wireless Sensor Networks. *Recent Patents on Engineering*. <https://doi.org/10.2174/1872212112666180521082955>.
- Shang, R., Zhang, Y., & Lu, Q. (2018). Field service management: A systematic literature review. *Journal of Service Management*, 29(4), 556-586.
- Sörensen, K., & Odgaard, A. F. (2007). A survey of metaheuristics for examination timetabling. *Journal of Scheduling*, 10(1), 1-17.
- Stützle, T., & Hoos, H. H. (2000). Local search for solving practical scheduling problems. *Journal of Scheduling*, 3(4), 393-404.
- Talbi, E. G. (2009). *Metaheuristics: From design to implementation*. John Wiley & Sons.
- Taylor, D. P. (2022, August 5). What is Field Service Management? The Motley Fool. <https://www.fool.com/the-ascent/small-business/field-servicemanagement/articles/field-service/>
- Thierry, M., Caron, F., & Hao, J. K. (2002). Tabu search for school timetabling problems. *Journal of Scheduling*, 5(5), 421-431.
- Wang, H. (2021). Field service management: A review of the literature and future research directions. *Journal of Service Research*, 24(3), 385-408.

Wang, S., & Zhao, A. (2009). An Improved Hybrid Genetic Algorithm for Traveling Salesman Problem. 2009 International Conference on Computational Intelligence and Software Engineering. <https://doi.org/10.1109/CISE.2009.5363568>.

Yue, Y., Broder, J., Kleinberg, R., & Joachims, T. (2012). The K-armed Dueling Bandits Problem. J. Comput. Syst. Sci. <https://doi.org/10.1016/J.JCSS.2011.12.028>.

Yan, X. (2004). Research on the University Timetable Problem Based on Genetic Algorithm. Mathematics in Practice and Theory.

Muhammad Afif Imran Bin Azamn (A181594)
Prof. Dr. Haslina Binti Arshad
Fakulti Teknologi & Sains Maklumat,
Universiti Kebangsaan Malaysia

Commented [U1]: Nama dan No. Matriks Pelajar, serta Nama Penyelia